

Master Thesis

TVVR 16/5016

Hållbar dagvattenhantering i den befintliga
stadsmiljön

fokus på Malmö

Sofia Kac



Division of Water Resources Engineering

Department of Building and Environmental Technology

Hållbar dagvattenhantering i den befintliga stadsmiljön

Fokus på Malmö

By:

Sofia Kac

Master Thesis

Division of Water Resources Engineering

Department of Building & Environmental Technology

Lund University

Box 118

221 00 Lund, Sweden

Water Resources Engineering

TVVR-16/5016

ISSN 1101-9824

Lund 2016

www.tvrl.lth.se

Master Thesis

Division of Water Resources Engineering

Department of Building & Environmental Technology

Lund University

Swedish title: Hållbar dagvattenhantering i den befintliga stadsmiljön

English title: Sustainable Stormwater Management in Existing Urban Areas

Author(s): Sofia Kac

Supervisor: Rolf Larsson

Co-Supervisor: Ann-Christin Sundahl

Examiner: Linus Zhang

Language: Swedish

Year: 2016

Keywords: Dagvatten; Hållbart; Magasinering; Augustenborg; Svackdiken; Regnbäddar; Öppen; Infiltrationsytor

Sammanfattning

Utifrån handböcker för hållbar dagvattenhantering har information om geometrisk utformning och uppbyggnad av några hållbara dagvatten- anläggningar tagits fram. Tillsammans med bland annat information om effektiv porositet har den totala volymen som dessa anläggningar kan magasinera beräknats med hänsyn till hur ytkrävande de är, kubikmeter dagvatten per kvadratmeter yta. Dessa värden har sedan använts för att beräkna magasineringskapaciteten i ett bostadsområde i utkanten av centrala Malmö där man 2008 implementerade hållbar dagvattenhantering. Detta gav en total magasineringvolym för området. Denna volym har sedan jämförts med den volym som krävs för att eliminera bräddningar av avloppsvatten i Malmös stadskanaler samt motverka överbelastning på Sjölunda avloppsreningsverk som tar hand om majoriteten av Malmös avloppsvatten. Det visade sig att drygt sju stycken liknande områden skulle behöva tillämpa hållbar dagvattenhantering, vilket är möjligt ur ett rent ytmässigt perspektiv. Förutom detta framgick det att underjordiska magasin är de mest yteffektiva dagvattenanläggningarna ur magasineringsperspektiv, men att våta dammar är det bästa alternativet när man ser till miljö, kostnad och allmänhetens åsikt.

Abstract

Based on manuals for sustainable stormwater management, information about the geometric design and structure of a couple of sustainable storm water facilities was collected. Together with information about the effective porosity and the total volume that these facilities can store it was possible to calculate how space consuming each facility was, cubic meters of rainwater per square meter of surface. These values were then multiplied with the amount of stormwater facilities situated in a residential area in the outskirts of downtown Malmö, which in 2008 implemented sustainable stormwater management. This gave a total volume per storage area. The same volume was then compared to the volume required to eliminate overflows of sewage into the city canals and the overload on the wastewater treatment plant Sjölunda. It turned out that approximately seven similar areas would need to implement sustainable stormwater management like, which is achievable from a purely space consuming perspective. Besides this, the study also showed that underground chambers are the most space-efficient storm water facilities from a storage perspective, but wet ponds are the best option considering costs, public opinion and environmental effects.

Förord

Främst vill jag tacka min handledare på universitetet Rolf Larsson för att han alltid ger tid och med ett öppet sinne lyssnar och reflekterar över mina idéer. Jag vill även tacka för den flexibilitet som han visat genom projektets gång.

Ett stort tack till Ann-Christin Sundahl, min handledare på Tyréns som har gett mig möjligheten att utföra mitt arbete i en inspirerande miljö, full av kompetenta medarbetare.

Johanna Sörensen, tack för grundidén till projektet och för tiden du avlade för att utveckla idén med mig, trots att du har mycket annat för dig.

Tack till Ingemar Clementson för att du delat med dig av dina kunskaper i GIS. Utan dig hade mina kartor inte blivit lika fagra.

Förutom ovan så vill jag tacka Stefan Aguayo som har besvarat frågor gällande hållbar dagvattenhantering, Marzi Shariari och Kalle Koinberg som förklarat hur VA-projektering går till i praktiken samt alla andra på VA-avdelningen på Tyréns.

Slutligen vill jag tacka ledningsnätsavdelningen på VA-Syd som har varit väldigt tillmötesgående i att leverera kartor som har förenklat mitt arbete.

Lista över figurer

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figur 2.1 Illustration över kombinerat avloppssystem. (Bloomington Government, 2016) | 6 |
| Figur 2.2 Illustration av ett duplikatsystem. (Bloomington Government, 2016) | 7 |
| Figur 2.3 Avloppsnätet i Malmö samt indelning av verksamt och icke verksamt duplikatsystem och kombinerat system..... | 9 |
| Figur 2.4 Bräddningspunkter och avloppsnätets huvudsträckning i Malmö..... | 11 |
| Figur 2.5 Principell illustration av bräddningen till Turbinkanalen vid Malmö kanotklubb. (Bild: VASyd 2015 a) | 12 |
| Figur 2.6 Malmö uppdelat i avrinningsområden med avloppsnätets huvudsträckning i violett och Augustenborg inringat i rött..... | 13 |
| Figur 2.7 Karta över Malmös jordarter. 1:25000 - 1:100000 (SGU:2016) | 16 |
| Figur 2.8 Avloppstunneln. (VA Syd, 2015 a) | 18 |
| Figur 2.9 Augustenborg, Malmö. (Google Earth) | 21 |
| Figur 2.10 Avrinningskarta över Augustenborg, Malmö. (Malmberg, 2008) | 23 |
| Figur 2.11 Avrinning till den centrala avrinningskanalen, Augustenborg, Malmö. (Malmberg, 2008) | 24 |
| Figur 2.12 Avrinning till Lönngatans avrinningskanal, Augustenborg, Malmö. (Malmberg, 2008) | 24 |
| Figur 2.13 Svackdike längs Lönngatan, Augustenborg, Malmö. (Stahre, 2008) | 26 |
| Figur 2.14 Betongkanal längs Lönngatan, Augustenborg, Malmö. (Stahre, 2008)..... | 26 |
| Figur 3.1 Urbaniseringens påverkan på vattenflödet..... | 28 |
| Figur 3.2 Förhållande mellan ett slutet och öppet tvärsnitt. (Svenskt Vatten, 2016) | 29 |
| Figur 3.3 Illustration av olika kategorier av öppna dagvattenlösningar (Stahre, 2004) | 32 |
| Figur 3.4 Grönt tak på allmän toalett i området Gyllins Trädgård, Malmö. | 37 |
| Figur 3.5 Sedumtak på busshållplats på Gustaf Adolfs Torg i Malmö. (Nilsson, 2013)..... | 37 |
| Figur 3.6 Höger: Avrinningsränna till infiltrationsyta på en skola i Gyllins Trädgård i Malmö. Vänster: Infiltration på gräsmatta med kupolbrunn i området Gyllins Trädgård i Malmö. ... | 39 |
| Figur 3.7 Permeabla ytor på parkeringsplatser i området Gyllins Trädgård i Malmö. Till vänster natursten med genomläppliga fogar och till höger hålsten av betong med mellanliggande gräs. | 40 |
| Figur 3.8 Alternativ på uppbyggnad av permeabel yta bestående av natursten. (City of Portland, 2016) | 41 |
| Figur 3.9 Kassetmagasin (Vinnova, 2014) | 43 |
| Figur 3.10 Dagvattenkammare (Vinnova, 2014) | 43 |
| Figur 3.11 Svackdiken i Augustenborg (V) och Gyllins Trädgårdar (H) | 45 |
| Figur 3.12 Exempel på svackdikes utformning. (Haeggblom & Hallerth, 2016)..... | 46 |
| Figur 3.13 Exempel stenkista i ett grunt avvattningsstråk. | 47 |
| Figur 3.14 Stenkista i Gyllins Trädgård i Malmö. | 48 |
| Figur 3.15 Brett avvattningsstråk i Augustenborg..... | 49 |
| Figur 3.16 Exempel på utformning av brett svackdike, inspirerad av Malmö Stad..... | 49 |
| Figur 3.17 Nedsänkt regnbädd. (Fridell & Jergmo, 2015) | 50 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figur 3.18 Uppbyggnad av regnbädd utan tät markduk, för områden där vatten kan infiltrera till grundvatten. (Fridell & Jergmo, 2015) | 51 |
| Figur 3.19 Regnbädd med tät markduk. (Fridell & Jergmo, 2015) | 52 |
| Figur 3.20 Uppbyggnad av jordlager i regnbädd. (Fridell & Jergmo, 2015) | 52 |
| Figur 3.21 Fördröjningsdamm i Augustenborg. | 54 |
| Figur 3.22 Damm i Augustenborg vid permanent vattennivå (V) (Westlin, 2016) och vid regn (H) (Stahre, 2008)..... | 54 |
| Figur 3.23 Öppen kanal i Augustenborg..... | 55 |
| Figur 3.24 Regnbädd kopplad till öppen otäckt kanal på en skola i området Gyllins Trädgård. | 56 |
| Figur 3.25 Utformning av för täckta och otäckta beklädda kanaler. (Ministry of Natural Resources and Environment, 2016) | 57 |
| Figur 3.26 Placeringsförutsättningar för beklädda kanaler. (Ministry of Natural Resources and Environment, 2016) | 57 |
| Figur 3.27 Cloudburst Boulevard, Copenhagen (Ramböll, 2015) | 58 |
| Figur 3.28 Amfiteater på skolgård i Augustenborg. (Björlin, 2014)..... | 59 |
| Figur 3.29 Namn och kornstorleksfördelning. (Larsson, 2008) | 62 |
| Figur 4.1 Illustration av natursten med mellanrum av grus följt av ett lager grus, följt av ett lager makadam..... | 71 |
| Figur 4.2 Svackdike, profil 1. (Haeggbloom och Hallerths, 2016)..... | 73 |
| Figur 4.3 Ritning över svackdike i Augustenborg, profil 2. | 74 |
| Figur 4.4 Ritning av svackdike i Augustenborg, profil 3. | 75 |
| Figur 4.5 Magasineringskapacitet beroende av bredd i beklädda kanaler. | 82 |
| Figur 4.6 Sammanställning av dagvattenanläggningar inklusive mångfunktionella ytor. | 85 |
| Figur 4.7 Sammanställning av dagvattenanläggningar exklusive mångfunktionella ytor. | 86 |
| Figur 4.8 Karta över Malmö med avrinningsområde till centrala kanalerna i grönt och kombinerade ledningsnätet i grått. | 92 |
| Figur 4.9 Indelning av möjliga områden för ombyggnation, Malmö..... | 93 |
| Figur 4.10 Område 0, Malmö. (Google Earth, 2016) | 94 |
| Figur 5.1 Hållbarhetsperspektiv och magasinerings effektivitet. Lägst magasinerings effektivitet till högst. | 102 |
| Figur 5.2 Hållbarhetsindex och magasinerings effektivitet där högst magasinerings effektivitet presenteras överst. (Ludzia, et al., 2014)..... | 104 |

Innehållsförteckning

| | |
|----------------------------------------------------------------------|------------|
| Sammanfattning | I |
| Abstract | II |
| Förord | III |
| 1. Inledning | 1 |
| 1.1 <i>Introduktion</i> | 1 |
| 1.2 <i>Målsättning</i> | 3 |
| 1.3 <i>Begränsningar</i> | 3 |
| 1.4 <i>Metod</i> | 4 |
| 2 Bakgrund | 6 |
| 2.1 <i>Malmös dagvatten och avloppssystem</i> | 6 |
| 2.1.1 <i>Bräddpunkter</i> | 10 |
| 2.1.2 <i>Recipenter</i> | 13 |
| 2.2 <i>Övriga problem som dagens tryckavloppssystem medför</i> | 14 |
| 2.3 <i>Vem ansvarar för dagvattnet?</i> | 14 |
| 2.4 <i>Malmös grundvatten och markförhållanden</i> | 16 |
| 2.5 <i>Malmö avloppstunnel</i> | 17 |
| 2.5.1 <i>Dimensioneringsförutsättningar</i> | 18 |
| 2.5.2 <i>Dimensionering</i> | 20 |
| 2.6 <i>Augustenborg</i> | 21 |
| 2.6.1 <i>Avrinningsområdet Augustenborg</i> | 23 |
| 2.6.2 <i>Dagvattensystemets utformning</i> | 23 |
| 2.6.3 <i>Andra exempel på omhändertagande av vatten</i> | 26 |
| 3 Hållbar dagvattenhantering | 28 |
| 3.1 <i>Hållbar dagvattenhantering i världen</i> | 31 |
| 3.2 <i>Fyra kategorier av öppna dagvattenlösningar</i> | 32 |
| 3.3 <i>Exempel på öppna dagvattenlösningar</i> | 34 |

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.1 | Gröna Tak | 34 |
| 3.3.2 | Infiltration i mark..... | 38 |
| 3.3.3 | Permeabla ytor | 39 |
| 3.3.4 | Underjordiska magasin..... | 41 |
| 3.3.5 | Öppna avvattningsstråk och fördröjningsmagasin | 44 |
| 3.3.6 | Regnbäddar | 50 |
| 3.3.7 | Dammar | 53 |
| 3.3.8 | Beklädda dagvattenkanaler..... | 54 |
| 3.3.9 | Mångfunktionella ytor..... | 57 |
| 3.4 | Föroreningar | 59 |
| 3.5 | Återkomsttid och regnets varaktighet..... | 60 |
| 3.6 | Permeabilitet, kornstorlek, effektiv porositet & infiltrationskapacitet 60 | |
| 3.7 | Långsiktig hållbar samhällsutveckling..... | 63 |
| 4 | Resultat..... | 65 |
| 4.1 | Dimensionerande flöde..... | 66 |
| 4.2 | Infiltrationshastighet | 67 |
| 4.3 | Gröna tak | 68 |
| 4.4 | Magasinering i gräsytor | 69 |
| 4.5 | Permeabla ytor | 70 |
| 4.6 | Underjordiska magasin..... | 72 |
| 4.7 | Svackdiken | 73 |
| 4.8 | Breda avvattningsstråk..... | 77 |
| 4.9 | Regnbäddar | 78 |
| 4.10 | Dammar | 79 |
| 4.11 | Öppna dagvattenkanaler..... | 81 |
| 4.12 | Permeabla ytor tillsammans med underjordiska magasin..... | 84 |
| 4.13 | Mångfunktionella ytor..... | 84 |

| | | |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 4.14 | <i>Sammanställning</i> | 85 |
| 4.15 | <i>Implementering av öppna dagvattenlösningar i Malmö</i> | 88 |
| 4.16 | <i>En djupare analys av område noll, fem och åtta</i> | 94 |
| 5 | Diskussion | 100 |
| 6 | Slutsats | 106 |
| 7 | Framtida arbete | 107 |
| 8 | Litteraturförteckning | Error! Bookmark not defined. |
| | Bilaga 1 - Ritningar på dagvattenanläggningar i Augustenborg | 1 |
| | Bilaga 2 - Möjliga områden | 5 |

1. Inledning

1.1 Introduktion

Asfalt och andra täta ytor täcker majoriteten av marken i dagens städer. Som om porerna på ens hud skulle täckas, täcker vi markytorna så att vattnet varken kan infiltrera, evaporera eller transpirera. En stor del av nederbörden som annars skulle infiltrera till grundvattnet fångas istället upp i ledningar och förs till reningsverk, vars främsta uppgift är att rena avloppsvatten för att sedan släppa ut det i havet. Förutom att grundvattennivåerna sänks, så är varje kubikmeter vatten som inte nödvändigtvis hade behövts renas en onödig kostnad för samhället, både från ett ekonomiskt och ett miljömässigt perspektiv.

Fram till sextioalet byggdes kombinerade ledningsnät i Malmö där spillvatten och dagvatten tillsammans transporterades till Sjölunda reningsverk. I mitten på sextioalet kom man fram till att det inte är nödvändigt med samma reningsprocess för dagvatten som för spillvatten och därför började man bygga separata ledningar. Trots detta är det fortfarande en betydande del dagvatten som passerar genom reningsverket årligen.

Inte nog med att reningsverket blir överbelastat vid regn, så blir även ledningarna längre upp i systemet det, vilket bland annat lett till källaröversvämningar i många fastigheter runtom i Malmö. För att motverka överbelastning vid regn så bräddas orenat avloppsvatten ut vid olika bräddpunkter i centrala Malmö, flera av dessa placerade i de centrala kanalerna.

Ett förslag från VA-Syd för att motverka bland annat bräddningar till recipienter och överbelastning på reningsverket är att bygga en sex kilometer lång underjordisk tunnel, med en diameter på dryga fyra meter, placerad 30 meter under markytan. Dess syfte är att både transportera och magasinera en stor del av avloppsvattnet från de flesta områdena i Malmö. Detta väntas bli det dyraste VA-projektet någonsin för kommunen.

Hållbar dagvattenhantering har blivit mer och mer populärt de senaste åren runt om i världen. Man vill efterlikna den naturliga hydrologiska cykeln så mycket som möjligt. Istället för att transportera bort vattnet så vill man implementera "blå-gröna lösningar" som gröna tak, permeabla ytor, dammar, diken och andra liknande lösningar för att fördröja, magasinera och rena dagvattnet på eller nära den plats där det faller. Genom att regnvattnet får möjlighet att infiltrera och sedimentera i dessa anläggningar kan föroreningar tas upp lokalt, vilket minskar behovet av rening. Samtidigt kan man minska flödestopparna då vattnet magasineras lokalt. Förutom detta så ger de blå-gröna lösningarna en attraktivare stadsmiljö med fler gröna ytor.

För Augustenborg, ett bostadsområde i utkanten av centrala Malmö, valdes i slutet på 90-talet att implementera öppen dagvattenhantering som en lösning på källaröversvämningarna i området. Idag är Augustenborg ett exempel på välfungerande hållbar dagvattenhantering både nationellt och internationellt.

Det blir vanligare och vanligare med hållbar dagvattenhantering i nybyggda områden men det är fortfarande begränsat vid ombyggnation av befintliga stadsmiljöer. Denna studie ska ge en klarare bild av den magasinande effekt som blå-gröna lösningar kan ha då de implementeras i större skala. Detta ska i sin tur

besvara om hållbar dagvattenhantering är ett komplement eller en komplett lösning för att minska bräddningarna till Malmös recipienter.

1.2 Målsättning

Målet med detta examensarbete är att få en uppfattning om vilken fördröjande effekt hållbara dagvattenlösningar kan ha på dagvattnet i den befintliga stadsmiljön när de implementeras i större skala och på så vis analysera om hållbar dagvattenhantering kan vara ett alternativ för att hantera problem med översvämningar och bräddningar i Malmö. Målet kommer att uppnås med ett antal delmål:

- Identifiera magasineringsskapacitet och effektivitet hos olika hållbara dagvattenlösningar per ytanspråk, kubikmeter magasinerat vatten per kvadratmeter upptagen yta.
- Beräkna den totala fördröjningsvolymen för de hållbara dagvattenanläggningarna i Augustenborg.
- Beräkna hur många områden liknande Augustenborg som krävs för att uppnå samma magasineringsskapacitet som Malmö avloppstunneln.
- Identifiera vilka områden i Malmö där blå-gröna lösningar skulle kunna implementeras.

1.3 Begränsningar

Då Malmö Avloppstunnel är menad att lösa problemen för Sjölunda avloppsreningsverk så kommer endast de uppsamlingsområden som är kopplade till Sjölunda att tas med i beräkningarna trots att en viss del av Malmö är kopplad till Klagshamns avloppsreningsverk.

Hållbar dagvattenhantering innebär att ingrepp måste göras på markytor som kan vara kommunalt eller privatägda. Då det kommer till privata fastigheter kan motstånd mötas, vilket innebär att det inte är möjligt att förvänta sig att man kan implementera dessa anläggningar varsomhelst i staden. I denna rapport har ingen närmare utredning gjorts av vad som är privat respektive kommunal mark, antaganden har gjorts att småhus står på privatägd mark medan lägenhetshus på kommunal.

Hållbara dagvattenanläggningar har renande effekt på dagvattnet. Det är därför viktigt att förutom magasineringkapacitet se till reningskapacitet i anläggningarna. I denna studie ligger fokus på dagvattnets kvantitet och inte dess kvalitet. Utformningskraven är dock till viss del baserade på att anläggningarna ska klara rening av föroreningar.

Kostnader för att anlägga och för underhåll av hållbara dagvattenanläggningar tas inte i beaktande i denna studie, trots att detta kan vara ett starkt argument både för eller emot detta tillvägagångssätt.

1.4 Metod

En litteraturstudie kommer att göras där fokus ligger på att finna information om hur olika hållbara dagvattenlösningar fördröjningskapacitet. Liknande anläggningar som de i Augustenborg kommer att prioriteras. Den geometriska utformningen och materialens effektiva porositet kommer att ge en total volym som respektive anläggning kan magasinera per kvadratmeter. Genom att dividera detta med det totala ytanspråk som anläggningen kräver erhålls en magasineringseffektivitet som

demonstrerar magasinerings-kapaciteten i kubikmeter per kvadratmeter. Detta kommer att ge en bild av magasineringseffektiviteten hos de olika dagvattenanläggningarna.

Vidare kommer magasineringskapacitetsvärdena för vardera anläggning att multipliceras ytan för de olika anläggningarna som finns i Augustenborg. På så sätt kommer en total magasineringsvolym för Augustenborg att erhållas.

Information om intensitet och varaktighet som använts vid dimensionering av den planerade avloppstunneln kommer att användas tillsammans med andelen hårdgjorda ytor som tunneln väntas hantera för att ta fram en total dagvattenvolym som måste magasineras. Denna volym ska sedan jämföras med volymen som dagvattenanläggningarna i Augustenborg gemensamt magasineras. På så vis kan en övergripande bild erhållas över hur många områden som skulle behöva samma mängd hållbara dagvattenlösningar som Augustenborg för att uppnå samma magasineringsvolym som man vill att avloppstunneln ska hantera.

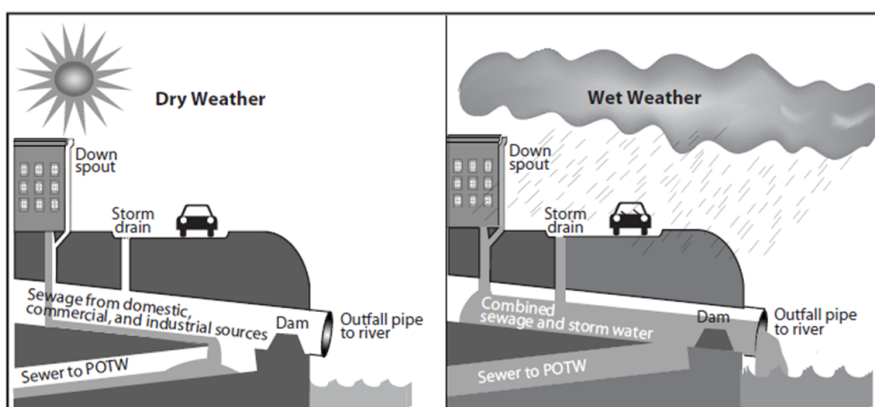
Vidare kommer möjliga områden runt om i Malmö, som uppfyller vissa kriterier, att identifieras för ombyggnation till öppen dagvattenhantering likt den i Augustenborg.

2 Bakgrund

2.1 Malmös dagvatten och avloppssystem

Malmös avloppssystem består till ca 30 % av kombinerat ledningsnät innebärande att spillvatten och dagvatten avleds i samma ledningar. Vid större flöden så kan systemet bräddas för att lätta trycket på ledningsnätet och på så sätt motverka översvämningar i lågt belägna källare samt undvika överbelastning på reningsverket. Då systemet bräddas släpps dagvatten och avloppsvatten ut i närliggande vattendrag (VA Syd, 2016 a).

Bräddavloppen är dimensionerade så att de släpper ut vatten med en viss utspädningsgrad, 5-10 gånger dagvatten per del avloppsvatten (a.a). I Figur 2.1 illustreras hur de kombinerade avloppsnäten fungerar.

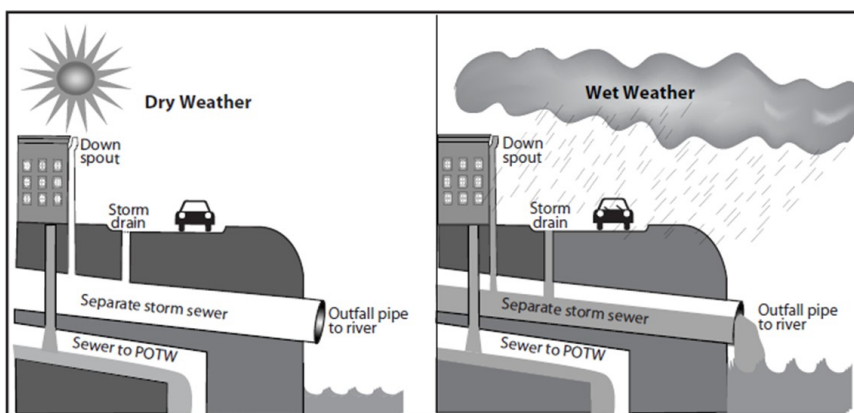


**Figur 2.1 Illustration över kombinerat avloppssystem.
(Bloomington Government, 2016)**

Efter 1960-talet slutade man med kombinerade system och började istället bygga duplikatsystem, även kallade separerade system. Spillvattnet leds i dessa system till reningsverken medan dagvattnet leds direkt ut i havet. I dessa system är bräddning inte

nödvändigt. (VA Syd, 2016 a) Figur 2.2 illustrerar ett duplikatsystem.

Under 60–70-talet kopplades en del av duplikatsystemen till det kombinerade nätet på vägen till avloppsreningsverket, vilket lett till att de idag är icke verksamma duplikatsystem. (VA Syd, 2016 b)



Figur 2.2 Illustration av ett duplikatsystem. (Bloomington Government, 2016)

Fram tills 1978 fanns det krav på kommuner att separera de kombinerade näten för att motverka bräddningar. Med tiden framgick det att kostnaderna för detta skulle bli orimliga jämfört med den effekt det skulle ge, vilket ledde till att kravet hävdes (VA Syd, 2016 b).

Under 2000-talet har Malmö stad investerat dryga tjugo miljoner kronor totalt på rörnätsförbättringar för att motverka källaröversvämningar och minska utsläpp av föroreningar i stadens vattendrag (a.a).

Genom ett självfallssystem leds 90 % av Malmöstads avlopp norrut till pumpstationer inom Sjölundaverkets upptagningsområde. Tryckledningar transporterar avloppsvattnet från

pumpstationerna till Sjölunda reningsverk. I dessa ledningar förflyttas vattnet genom att pumparna trycker ut vattnet i ledningarna. När flödet blir större än vad systemet är dimensionerat för sker avlastning genom bräddning vid respektive pumpstation. Ledningarnas dimension och pumparnas kapacitet att pumpa mottryck är det som begränsar systemet. (VA Syd, 2015 a) Tryckavloppssystemet omfattar total 19 km ledningar och åtta pumpstationer, de tre största är Turbinen, Rosendal och Spillepengen. (VA Syd, 2015 a)

Cirka 11 procent av vattnet som kommer till Sjölunda årligen är dagvatten. (VA Syd, 2015 b)

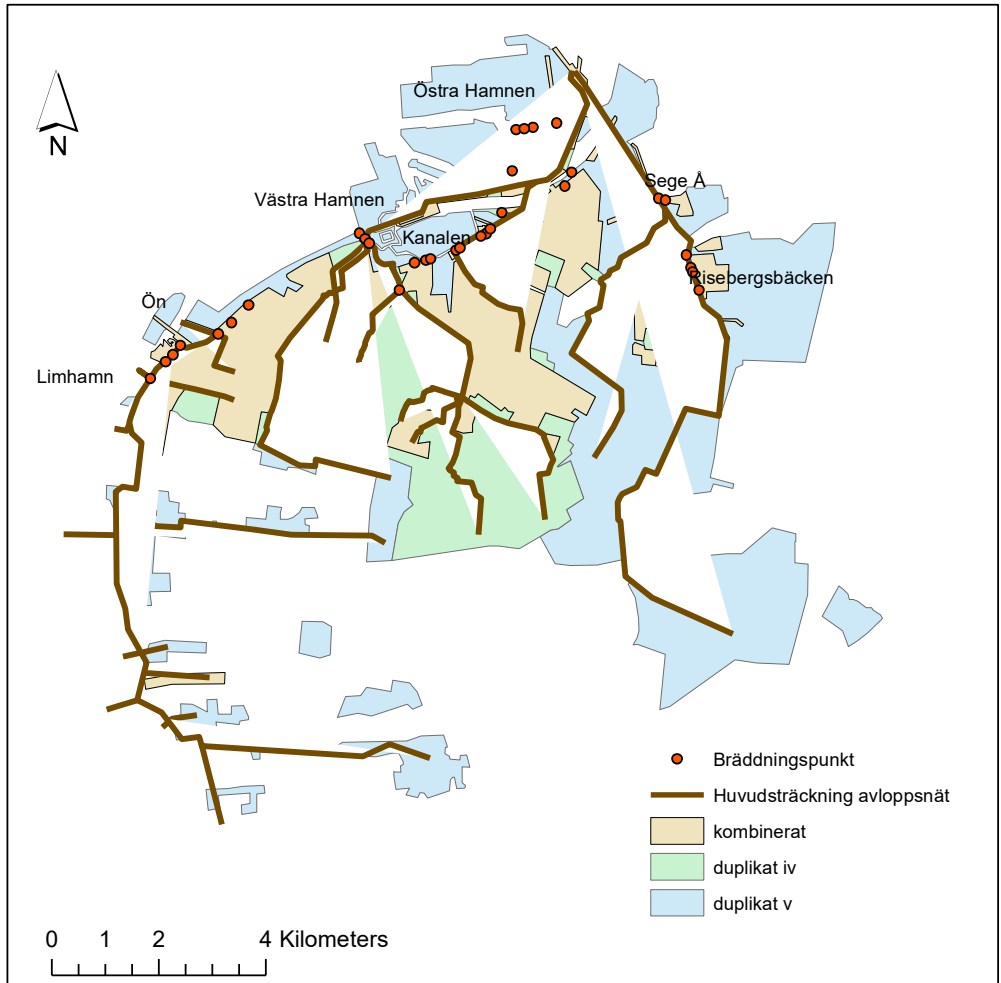
I figur Figur 2.3 illustreras Malmös avloppssystem, där de rosa områdena representerar kombinerade systemet medan de två nyanserna av grönt representerar de områden som är kopplade till verksamma och icke verksamma duplikatsystem.



Figur 2.3 Avloppsnätet i Malmö samt indelning av verksamt och icke verksamt duplikatsystem och kombinerat system.

2.1.1 Bräddpunkter

I figur 2.4 visas Malmös 33 bräddpunkter, lokaliserade i Risebergabäcken, Sege kanal, Östra hamnen, Turbinen och Parkkanalen samt Limhamns hamn och sundet utanför Ön. Från Turbinen och Parkkanalen rinner det bräddade vattnet vidare i kanalsystemet och når till slut södra varvsbassängen och yttre hamnen. Tack vare Turbinens pumpstation kan kanalvattnet inte rinna ut mot Västra Hamnen då det finns en cirkulationspump som ser till att kanalvattnet omsätts. 15 av bräddningspunkterna har sina utlopp i innerstadskanalen. I Tabell 2.1 Kan man se att det är övervägande mest bräddningar i innerstadskanalerna. Mer än hälften av de årliga bräddningarna hamnar här vilket är extra oturligt då innerstadskanalerna är de känsligaste områdena i Malmös vattenområde. Bräddningar sker flera gånger om året, mest under sommarmånaderna juni-augusti. Hur mycket vatten som bräddas är beroende på regnintensitet och varaktighet (VA Syd, 2015 a).

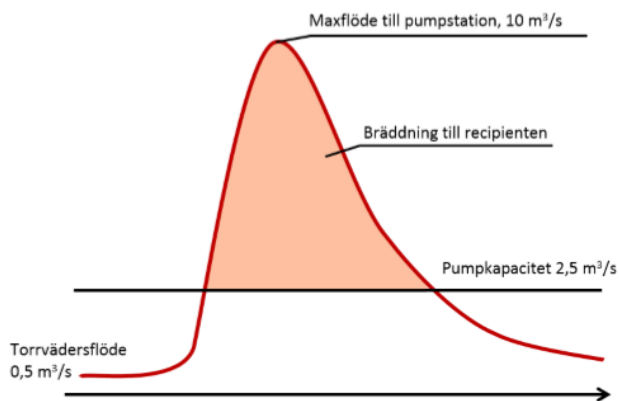


Figur 2.4 Bräddningspunkter och avloppsnätets huvudsträckning i Malmö.

Tabell 2.1 Bräddningar på ledningsnätet inom Sjölundaverkets upptagningsområde. (VA Syd, 2015 b)

| Område | Antal bräddutlopp [st] | Bräddvolym [m ³ /år] | Bräddfrequens, [ggr/år] |
|-----------------|------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Inre kanaler | 13 | 846000 | 2-15 |
| Risebergabäcken | 4 | 95500 | 2-14 |
| Sege kanal | 2 | 66100 | 9-20 |
| Malmö hamn | 5 | 43600 | 2-17 |
| summa | 24 | 1051200 | |

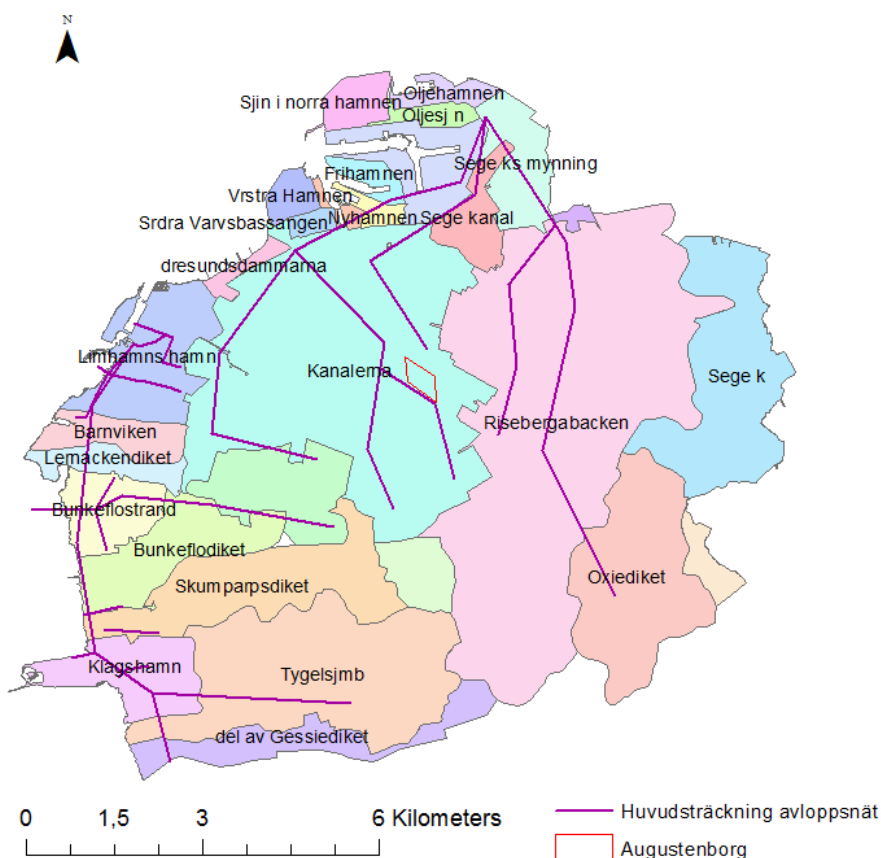
Figur 2.5 är en illustration från VA-Syd som visar situationen vid Turbinens pumpstation. Pumpstationen är dimensionerad för ett flöde på 2,5 m³/s, dock kan flödet till pumpstationen uppgå till 10 m³/s vid kraftiga regn, vilket resulterar i stora mängder vatten som bräddas ut i kanalen.



Figur 2.5 Principell illustration av bräddningen till Turbinkanalerna vid Malmö kanotklubb. (Bild: VASyd 2015 a)

2.1.2 Recipienter

Information om avrinningsområdena i Malmö och vilken recipient de är kopplade till har tillhandahållits från VA-Syd. Som Figur 2.6 visar så ligger Augustenborg inom avrinningsområdet som har innerstadskanalerna som recipient. Risebergabäckens avrinningsområde illustreras i violett och ligger jämte kanalernas avrinningsområde. Dessa två är de största avrinningsområdena kopplade till uppsamlingsledningen som leder till Sjölunda.



Figur 2.6 Malmö uppdelat i avrinningsområden med avloppsnetets huvudsträckning i violett och Augustenborg inringat i rött.

2.2 Övriga problem som dagens tryckavloppssystem medför

Förutom bräddningar och källaröversvämningar så medför överbelastning på tryckavloppssystemen en säkerhetsrisk. Placeringen av rörledningarna gör att följderna vid driftstörningar påverkar stadens infrastruktur såsom järnvägar, bebyggelse och lokala vattenmiljöer. Detta i sin tur medför höga skadekostnader, sanitära olägenheter och verksamheter som drabbas av ekonomiskt stillestånd. Flera incidenter har skett de senaste tio åren på grund av driftstörningar. (VA Syd, 2015 a)

Maximalt kan 8 m³/s avloppsvatten pumpas från pumpstationerna till Sjölundaverket. Dock så sker vart till vartannat år sommarregn då flödet till ledningsnätet uppgår till omkring 20 m³/s. Sjölunda kan maximalt hantera 4,4 m³/s för fullständig rening. Överstigs detta flöde måste avloppsvattnet utjämnas eller förbildas olika reningssteg. För att hantera de stora flödena måste reningsverken alternativt byggas större (VA Syd, 2015 a).

Efter längre torrperioder ansamlas mycket partiklar i ledningarna som på grund av de höga flödena förs med till reningsverket vid första regnet, "first flush". Detta ger stora problem i inflödet på Sjölundaverket. Stora slitage på reningsverket och bräddning av orenat avloppsvatten sker vid reningsverket (a.a).

2.3 Vem ansvarar för dagvattnet?

För rörsystem är ansvaret för servisledningar, huvudledningar samt gatans avvattning uppdelat mellan flera parter. Innanför förbindelsepunkten ansvarar fastighetsägaren för servisledningarna, utanför förbindelsepunkten är det VA-huvudmannen (kommun, kommunalt bolag) som ansvarar.

Gatukontoret eller motsvarande ansvarar för allmänna markens avvattning och underhållet av dagvattenbrunnar. Dagvattenbrunnar behöver kontinuerligt rensas för att motverka att dagvattenledningarna utsätts för stora mängder sediment, vilket i sin tur försämrar systemets kapacitet (Svenskt Vatten AB, 2016) .

I Malmö finns det flera olika aktörer inblandade i dagvattenhanteringen:

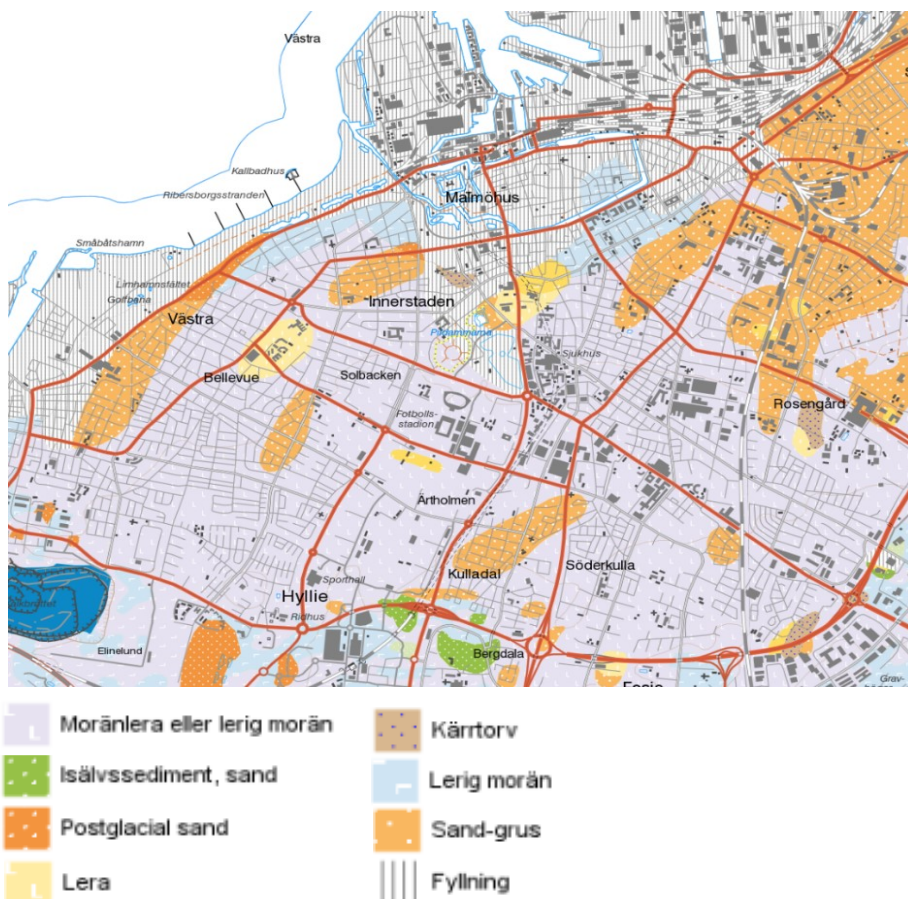
- Miljöförvaltningen - Utför tillsyn enligt miljöbalken, oftast kopplat till föroreningar och vattenkvalitén.
- Fastighetskontoret - Olika roller i processen beroende på om det är kommunen som äger marken eller inte. Oavsett roll så ansvarar de alltid över att dagvattenfrågor tas upp i exploaterings och markanvisningsavtal.
- Stadsbyggnadskontoret - De väger samman dagvattenfrågor med övriga förutsättningar. De har även ansvar för planprocessen, framtagande av översiktsplan, detaljplaner mm. De ska se till så att dagvattenfrågor lyfts tidigt i planprocessen samt att VA Syd och Gatukontoret är involverade i planprocessen.
- VA SYD - Huvudansvar för utbyggnad, strategier, struktur och kompetensutveckling av dagvatten.
- Gatukontoret - Ansvar för allmän platsmark inom kommunen. Oftast de som projekterar, bygger och står för underhåll av öppna dagvattenanläggningar. Kan hända att de underhåller anläggningar som ligger under VA-SYDs ansvar.

(Malmö Stad, 2008)

2.4 Malmö grundvatten och markförhållanden

Då marken i Malmö mestadels består av tröga moränleror väntas ingen infiltration eller perkolation då dagvattensystem dimensioneras. Fördröjning måste därför ske genom ytlig avledning. (Malmö Stad, 2008)

Grundvattennivån följer topografin och ligger på ett djup mellan 1 – 3 m under jordlagret (Sweco, 2000).

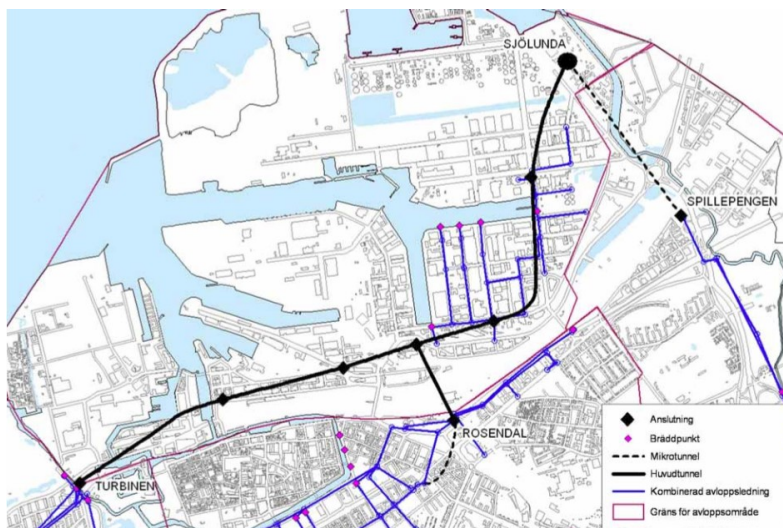


Figur 2.7 Karta över Malmö jordarter. 1:25000 - 1:100000 (SGU:2016)

2.5 Malmö avloppstunnel

Som en lösning på Malmös bräddningsproblem och överbelastning på Sjölunda avloppsreningsverk har VA-Syd förslagit att man ska bygga en underjordisk avloppstunnel under centrala Malmö. Denna är tänkt att ersätta avloppsledningssystemet från Malmöstads tätort till Sjölunda avloppsreningsverk (VA Syd, 2015 a). Figur 2.8 visar tunnelns tänkta sträckning.

Enligt Stefan Milotti och Ulf Nyberg på VA-Syd är inte huvudsyftet med tunneln att hantera problemet med bräddningar i kommunen. Tunnelns planerade ledningssträcka består idag av en samlingsledning som går från Turbinens pumpstation till Sjölunda reningsverk. Denna ledning är från början på 1900-talet och måste ersättas inom de närmaste tjugo åren. Antingen byter man ut den mot en ny ledning eller mot en tunnel. Några utav problemen med att anlägga ny ledning är att dagens ledningar är helt horisontella, vilket inte är önskvärt då man måste pumpa vattnet till reningsverket. Den nya ledningen måste då byggas med viss lutning för att skapa självfall. Dagens ledning ligger under många viktiga delar i staden såsom tågstationer och vägar. Under en ombyggnation skulle många problem uppstå runt om i staden (Milotti & Nyberg, 2016).



Figur 2.8 Avloppstunneln. (VA Syd, 2015 a)

Den 20 november 2014 ställde sig VA Syds ägarnämnd Malmö och förbundsstyrelsen bakom förslaget för den planerade tunneln. Under 2015 fortsatte arbetet för att få fram underlag till beslutsprocessen. Fram tills årsskiftet 2019 ska det arbetas vidare mot ett investeringsbeslut. Parallellt kommer fortsatta utredningar göras för andra alternativ, fram till att detaljprojektering kan påbörjas (VA Syd, 2015 a).

2.5.1 Dimensioneringsförutsättningar

År 2008 gjordes en utredning av Sweco på uppdrag av VA Syd för utformningen av Tunnel 2000 som den då kallades. Till denna rapport gjorde man flödeskurvor med hjälp av datorsimulering för olika typregn för att på så vis kunna bedöma den ökade hydrauliska belastningen på pumpstationen och reningsverk. Baserat på flödesuppgifterna valde arbetsgruppen att dimensionera tunnelns magasineringvolym för ett CDS - regn med två års återkomsttid och sex timmars varaktighet. Andelen

hårdgjorda ytor som användes i simuleringen presenteras i Tabell 2.2 (Sweco, 2008).

Tabell 2.2 Andelen hårdgjorda ytor kopplade till den planerade avloppstunneln i Malmö (Sweco, 2008).

| Avloppsområde | Andel hårdgjord yta |
|----------------------|----------------------------|
| Turbinen | 256 |
| Rosendals | 232 |
| Hamnen | 90 |
| Spillepengens | 63 |
| Totalt | 641 |

Bräddningsfrekvensen bestämdes till en gång vartannat år. Bräddningen ska ske vid Sjölunda reningsverk. Då reningsverket har en maxkapacitet för fullständig behandling på 4,4 m³/s innebär det att flödet till reningsverket inte får överstiga 4,4 m³/s mer än en gång vartannat år. 0,9 m³/s av detta flöde tillkommer från grannkommunerna Staffanstorps och Lomma, vilket innebär att ett flöde på maximalt 3,5 m³/s accepteras till Sjölunda från avloppstunneln (Sweco, 2008).

Prognoser som görs på grund av klimatförändringar visar att nederbörds mängderna kommer att bli allt större de närmaste hundra åren. I Svenskt Vattens publikation från 2011 föreslås klimatfaktorer på 1,05 -1,3, beroende på var man befinner sig i landet, vilket representerar en nederbördsökning på 5-30 %. Denna faktor används vid dimensionering av nya vattenanläggningar som ska hålla tills slutet av detta århundrade eller längre (Svenskt Vatten, 2011).

2014 gjorde Sweco en komplettering av rapporten från 2008 i och med att VA Syd börjat använda en klimatafaktor på 1,2. Till följd blev det en dimensioneringsökning på 20 % av tunnellen (Sweco, 2014).

2.5.2 Dimensionering

Från den offentliga rapporten publicerad av VA Syd 2015 är följande dimensioner representerade.

Huvudtunnelns längd skall uppgå till 6,1 km och mikrotunnlarna 2 km. Tunnelns diameter har i den nuvarande utredningen valts till 4,2 m utifrån dimensionsförutsättningar och tillgängliga borrhningstekniker. Den exakta dimensionen är inte bestämd men förväntas vara mellan fyra och fem meter i diameter. (VA Syd, 2015 a)

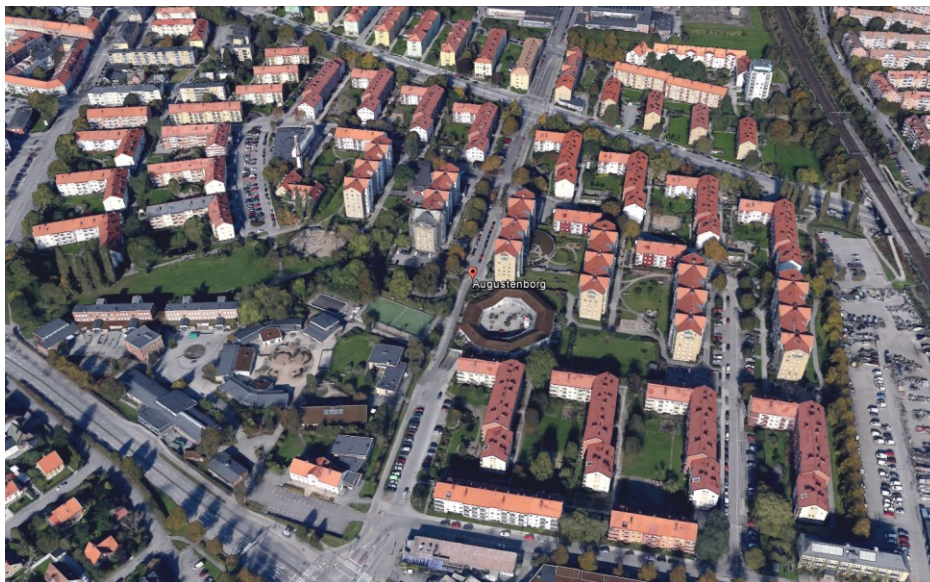
Huvudtunneln planeras att placeras på ca 20-30 m djup och föreslås att placeras längs en linje från Turbinen vid Östra hamnen mot Sjölunda reningsverk. Den utformas så att flödet till Sjölunda reningsverk blir maximalt $7\text{m}^3/\text{s}$ (a.a).

VA Syd betonar att tunneln inte är ett skyfallsprojekt. Detta innebär att tunneln inte förväntas ta hand om regn som är kraftigare än vad det allmänna avloppssystemet eller marken kan hantera, som i sin tur leder till problem i trafiken, skada på bebyggelse och besvär för invånarna. Den förväntas dock få bukt med översvämningar i Rosenvång och Nya Bellevue, områden som är hårt drabbade (a.a).

VA-Syd har gjort en nettokalkyl där den totala kostnaden utan riskpålägg uppgår till 1285 mkr. Två alternativ till finansiering har presenterats varav ena är att låna i takt med investeringarna och

den andra är att höja VA-taxan i förtid för att bygga upp kapital till den första amorteringsperioden (a.a).

2.6 Augustenborg



Figur 2.9 Augustenborg, Malmö. (Google Earth)

Augustenborg är ett bostadsområde i utkanten av centrala Malmö med en yta av 33 ha. Området är kopplat till det kombinerade avloppssystemet vilket tidigare ledde till att källarutrymmena ofta blev översvämmade vid större regn. För att få bukt med problemet så var det första självklara alternativet att bygga om avloppssystemet till duplikatsystem, men istället valde man att lösa problemet med öppen dagvattenhantering. Den största utmaningen i utformningen av det hållbara dagvattensystemet var att få det att passa in i den befintliga bebyggelsen. (Stahre, 2008)

Ombyggnationen av Augustenborg ägde rum i slutet på 90-talet och var ett samarbete mellan MKB (Malmö Kommunala Bostads

AB, ett av Sveriges största kommunala fastighetsbolag), institutionen för landskapsarkitektur vid SLU, Malmö VA-verk (numera kommunförbund VA-Syd) och boende i området (Klimatanpassningsportalen, 2016). Målsättningen med Augustenborgs öppna dagvattensystem var att det skulle kunna fördröja eller ta hand om 70 % av allt regnvatten (VA-Syd, 2011).

Anläggning av de öppna dagvattensystemet beräknas att ha kostat 35 miljoner kr, exklusive de gröna taken. VA-Syd stod för detta (Klimatanpassningsportalen, 2016).

Augustenborgs öppna dagvattensystem består av 6 km kanaler, 0,2 hektar gröna tak, som bara täcker ett fåtal av byggnaderna, samt elva stycken dammar som fördröjer och utjämnar dagvattenflödet. I Tabell 2.3 presenteras information om mängden dagvattenanläggningar i Augustenborg (a.a).

Tabell 2.3 Områdesinformation om Augustenborg (Malmberg, 2008)

| Typ | Yta | Enhet |
|-----------------------|------------|----------------|
| Planteringsyta | 22012 | m ² |
| Gräsyta | 30275 | m ² |
| Gräsarmering | 1114 | m ² |
| Dike | 440 | m ² |
| Kanal | 280 | m |
| Anrinränna | 2169 | m |
| Damm (11 st) | 1484 | m ² |
| Gröna tak | 1200 | m ² |

Dagvattensystemet är dimensionerat för att kunna hantera regn med en återkomsttid på 15 år, vilket det visat sig klara väl. 2007 utsattes systemet för ett 50-års regn, drygt 75 mm, vilket fick trafikleder i Malmö att översvämmas men inga skador uppstod i

Augustenborg. Enligt VA-Syd ska det öppna dagvattensystemet ha en livslängd på 150 år, minst lika långt som ett konventionellt system (a.a).

2.6.1 Avrinningsområdet Augustenborg

Augustenborg är uppdelat i två avrinningsområden med en högrygg i centrala delen, se figur 2.10. En andel av avrinningen går söderut mot Ystadsgatan och den andra delen rinner norrut mot Lönngatan (Malmberg, 2008).



**Figur 2.10 Avrinningskarta över Augustenborg, Malmö.
(Malmberg, 2008)**

2.6.2 Dagvattensystemets utformning

Augustenborg har två öppna dagvattenkanaler, den centrala och den som sträcker sig längs Lönngatan. Dessa två kanaler är kopplade till det kommunala dagvattensystemet. Förutom dessa finns en mängd andra anläggningar för lokalt omhändertagande på privatmark (Stahre, 2008).



Figur 2.11 Avrinning till den centrala avrinningskanalen, Augustenborg, Malmö. (Malmberg, 2008)



Figur 2.12 Avrinning till Lönnгатans avrinningskanal, Augustenborg, Malmö. (Malmberg, 2008)

Den centrala avrinningskorridoren

Den centrala avrinningskorridoren är till för att fördröja regnvattnet från den sydöstra delen till den sydvästra delen där

det öppna dagvattensystemet leds in i det traditionella dagvattensystemet. Den första delen av den centrala avrinningskorridoren består av en smal betongkanal, anledningen till detta var det begränsade utrymmet mellan byggnaderna. Kanalen är 0,5 meter bred och 0,6 meter djup. Totala längden är 100 meter. (Stahre, 2008)

Lönngatans avrinningskorridor

Lönngatans avrinningskorridor är designad som ett öppet system för långsam transport av dagvattnet. Lönngatan sträcker sig längs hela den norra delen av Augustenborg. Man ville få avrinningsanläggningen att smälta in i omgivningen så mycket som möjligt, helst ska man inte märka att de är till för vattenhantering. Systemet består mestadels av ett svackdike och delvis av regnbäddar (Stahre, 2008).

Den övre delen av kanalsystemet är ett ca 200 meter långt svackdike. Dagvatten transporteras till svackdiket från byggnaderna längs avvattningsstråket. Svackdiket leder ut till en öppen damm vid Grängesbergsgatan. Från dammen transporteras vattnet genom ett rör till den lägre delen av Lönngatans avrinningskorridor. För att förbättra vattenkvaliteten har man skapat cirkulation mellan dammen och en magasineringsdamm belägen 50 meter in på Grängesbergsgatan med hjälp av en pump (a.a).

Den lägre delen av Lönngatans avrinningskorridor är cirka 300 meter och sträcker sig västerut från Grängesbergsgatan. Första delen är ett naturligt svackdike På grund av platsbrist längre ner i kanalen så har ungefär 60 meter byggts om till en kanal med tvättade betongstenar. Kanalen leder sedan ut i en damm, varifrån vattnet pumpas till slutet på kanalen (a.a).



**Figur 2.13 Svackdike längs Lönngatan, Augustenborg, Malmö.
(Stahre, 2008)**



**Figur 2.14 Betongkanal längs Lönngatan, Augustenborg, Malmö.
(Stahre, 2008)**

2.6.3 Andra exempel på omhändertagande av vatten

På privatmark har en hel del lösningar för lokalt omhändertagande av vatten anlagts. Parkeringen vid Augustenborgsgatan är en infiltrationsyta med ett 0,25 meter tjockt gruslager med ett

rasternät av polyetenplast vid ytan för att stabilisera (Stahre, 2008).

På Augustenborgsskolan har en amfiteater byggts som oftast är torr och då kan användas för undervisning. Vid större regn kan den fyllas upp och blir ett fördröjningsmagasin (a.a).

Flertalet lokala fördröjningsdammar finns runtomkring i området för att fördröja ytavrinning från tak och andra impermeabla ytor. Förutom att vara fördelaktiga i vattenhanteringen så är de även vackra installationer i närmiljön (a.a).

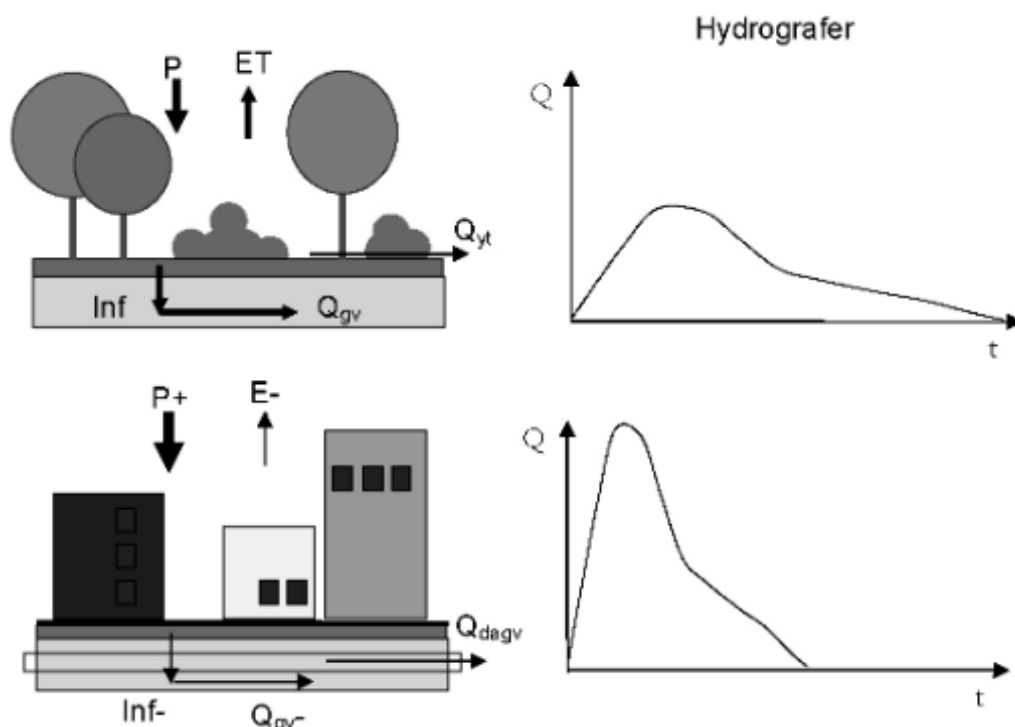
Eftersom dagvattnet är separerat från spillvattnet samt att det öppna dagvattensystemet medför en del naturlig rening så är det möjligt att släppa ut vattnet utan vidare rening (Klimatanpassningsportalen, 2016).

Avdunstning från det öppna systemets vattenytor och växter minskar den totala dagvattenvolymen med tio procent jämfört med ett konventionellt system (a.a).

En av de två större utmaningarna i projektet var att hitta fysisk plats mellan byggnader och infrastruktur för vatten, telefon, utryckningsvägar, fjärrvärme och el utan att dessa skulle påverkas under byggnationen och senare när systemet var i drift. Detta löstes genom att placera dagvattenlösningarna som naturliga inslag i de befintliga grönområdena. Den andra utmaningen var att områdets byggnader bedömdes känsliga för markvatten och fukt vilket begränsade mängden vatten som kunde infiltreras. Genom att lägga geotextil eller gummiduk i kanaler och dammar undveks en del av infiltrationen (Klimatanpassningsportalen, 2016).

3 Hållbar dagvattenhantering

Städer blir större och större, bebyggelseområden ökar och med detta ökar mängden hårdgjorda impermeabla ytor. Till följd av detta minskar den naturliga infiltrationen och ytavrinningen tilltar, både till mängd och intensitet, vilken i sin tur leder till att flödestopparna blir betydligt större (Stahre, 2004). I Figur 3.1 illustreras stadens påverkan på flödestopparna.

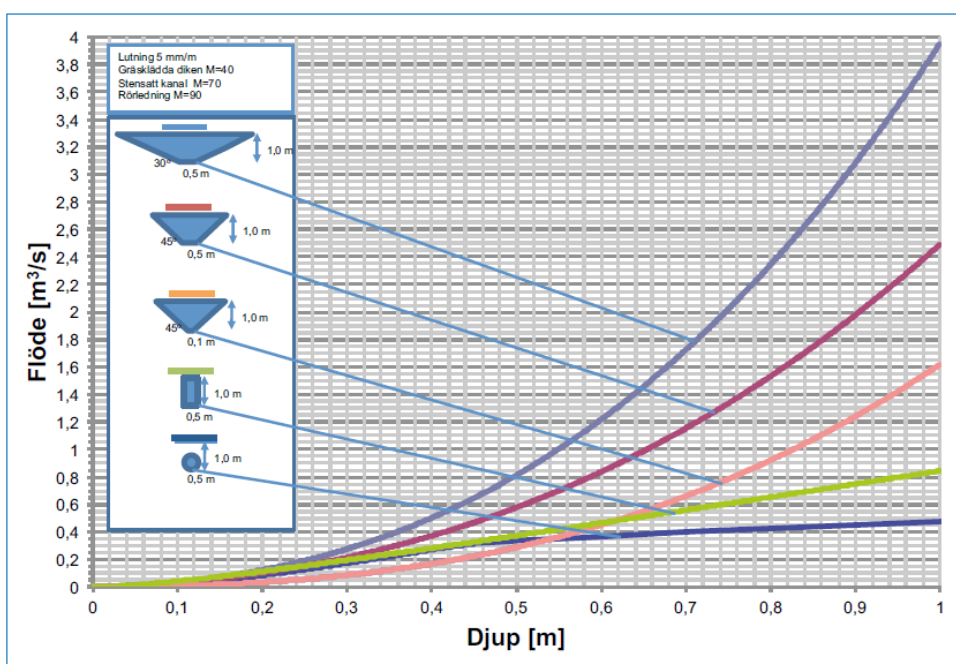


Figur 3.1 Urbaniseringens påverkan på vattenflödet.

Traditionellt har ingenjörer löst dessa problem med att öka ledningsnätets transportförmåga, t ex med att bygga om kombinerade avloppsnät till duplikatsystem, bygga nya större ledningar och bygga in magasinvolymmer för att tillfälligt fördröja flödestopparna. Dessa lösningar är ofta kostsamma och tar tid innan de ger den effekt som man vill åt (Stahre, 2004).

Med öppen dagvattenhantering vill man använda dagvattnet som en tillgång, ta hand om vattnet över marken där det faller samt tillåta det att infiltrera ner i marken. Förutom detta vill man öka evapotranspiration och fördröja samt förvara dagvattnet så att det liknar det naturliga avrinningsflödena och volymerna (Svenskt Vatten AB, 2011 a).

Som man kan se i figur 3.2 ökar flödeskapaciteten avsevärt mellan stängda och öppna system (Svenskt Vatten AB, 2016).



**Figur 3.2 Förhållande mellan ett slutet och öppet tvärsnitt.
(Svenskt Vatten, 2016)**

Öppna dagvattenlösningar, lokal dagvattenhantering, ekologisk dagvattenhantering, långsiktig hållbar dagvattenhantering, alternativt dagvattenhantering, trög dagvattenhantering är alla benämningar som används och har mer eller mindre samma betydelse (Stahre, 2004).

Peter Stahre, en framstående person inom hållbar dagvattenhantering understryker i sin bok *En långsiktig hållbar dagvattenhantering* att det inte finns någon motsättning mellan hållbar dagvattenhantering och den traditionella. De båda ska ses som komplement till varandra (a.a).

Öppen dagvattenhantering kan vid korrekt utformning ge ett mervärde till hela den urbana miljön ur flera olika aspekter. Med väl fungerande anläggningar ges ett *tekniskt värde* för gatukontoret då gröna buffertzoner längs trafikleder kan minska och fördröja avrinnande trafikdagvatten (a.a).

Öppna dagvattenlösningar kan göras estetiskt tilltalande och på så sätt skapa en mer trivsamt miljö för kommunens invånare. Det är även positivt från rekreativa aspekter då man kan kombinera cykelvägar, ridstråk och gångstigar som avrinningsstråk för dagvatten. Då det är torrt är stråken attraktiva för kommunens invånare och när det regnar är de naturliga vägar för vattnet att transporteras på (a.a).

Om man utformar dagvattenanläggningarna på ett genomtänkt vis så kan de användas som ett "biologiskt klassrum" i utbildningssyfte. Återskapas historiska vattendrag som försvunnit i och med urbaniseringen kan detta ge ett *historiskt värde* (a.a).

Eftersom öppen dagvattenhantering fortfarande är relativt ovanligt så är sannolikheten stor att kommunen kommer att få mer PR och på så sätt bli mer attraktiv (a.a).

Man vill även reducera föroreningar och ta hand om dessa vid källan och om nödvändigt behandla dagvattnet på plats så att omkringliggande miljö inte påverkas. I och med fler gröna ytor och

dammar ökar även den biologiska och ekologiska mångfalden (Svenskt Vatten AB, 2011 a).

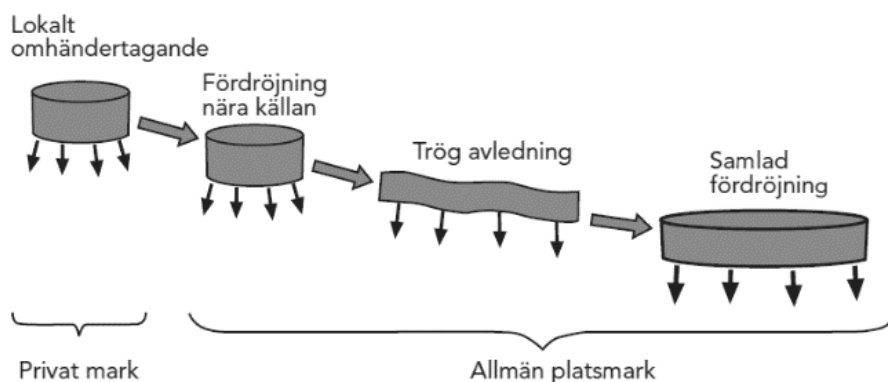
Myndigheternas krav på rening av avrinnande dagvatten från bland annat hårt belastade trafikleder ökar. Med hjälp av att implementera öppna dagvattenanläggningar kan vattnet renas från föroreningar genom sedimentation eller upptagning i det övre växttäcket vilket förbättrar miljön. Att fördröja dagvattenflödet och avskilja föroreningar genom öppna dagvattenlösningar är mindre kostsamt än att bygga konventionella underjordiska reningsanläggningar, vilket leder till ett *ekonomiskt värde* (Stahre, 2004).

3.1 Hållbar dagvattenhantering i världen

Hållbar dagvattenhantering har blivit populärt runt om i världen de senaste decennierna. Med detta har olika länder framfört olika definitioner för samma teknik, vissa är mer fokuserade på rening av föroreningar och andra på översvämningsaspekten. LID, Low Impact Development, är en term som används i Nordamerika och Nya Zeeland. Istället för att använda de traditionella metoderna vill man använda sig av naturen för att på så sätt minska kostnaderna. WSUD, Water Sensitive Urban Design, började användas i Australien på 1990 talet. SuDS, Sustainable Urban Drainage, används i Storbritannien. Andra benämningar man kan se är; SQUIDs, Stormwater Quality Improvement Devices. Green infrastructure, Source Control, Alternative Techniques, AT, Contemporary Techniques, CT. Stormwater Control Management, SCMs, Integrated Urban Water Management, IUWM, BMPs, Best Management Practice (Fletcher, et al., 2014).

3.2 Fyra kategorier av öppna dagvattenlösningar

Öppen dagvattenhantering kan delas in i fyra olika kategorier, lokalt omhändertagande, fördröjning nära källan, trög avledning och samlad fördröjning. Den förstnämnda är alltid anläggningar på privat mark och utformning och drift görs av markägaren. De tre senare är belägna på allmän platsmark vilket har stor betydelse för anläggningarnas utformning och drift (Stahre, 2004).



Figur 3.3 Illustration av olika kategorier av öppna dagvattenlösningar (Stahre, 2004)

Lokalt omhändertagande sker som nämnt på privat mark, dessa lösningar kan vara gröna tak, permeabla ytor så att vattnet kan infiltrera ner i marken, plantera träd och växter som kan ta upp vatten (a.a).

Fördröjning vid källan kan också innebära infiltration, men då på allmän platsmark, både på grönytor men även på ytor som annars skulle vara hårdgjorda, exempelvis parkeringsplatser. Det är viktigt att se till så att vattenvägar finns så att vattnet förs bort från bebyggelse och motverkar skador. På kvartersmark där det inte finns tillräckligt med utrymme för lokalt omhändertagande av

vatten borde allmän platsmark reserveras för att hantera detta dagvatten (a.a).

Trög avledning, ett öppet dagvattensystem som långsamt transporterar dagvattnet vidare från källan. Svackdiken, ”naturliga vattendrag” samt öppna hårdgjorda dagvattenkanaler är några exempel (a.a).

Samlad fördröjning är större anläggningar. Det kan vara tillfällig uppdämning av vatten, större fördröjningsdammar och våtmarker. Dessa placeras ofta i parker och rekreatiansanläggningar (a.a).

Nedan och på följande sida beskrivs vilka alternativ till anläggningar som finns för de fyra olika kategorierna.

- Lokalt omhändertagande (privat mark)
 - Gröna tak
 - Infiltration på gräsytor
 - Genomsläppliga beläggningar
 - Stenfyllningsmagasin
 - Svackdiken
 - Fördröjningsmagasin
 - Uppsamlingsstankar för återanvändning av takvatten
 - Underjordiska magasin
- Fördröjning nära källan (allmän mark)
 - Genomsläppliga beläggningar
 - Tillfällig uppdämning av gatumark
 - Tillfällig uppdämning av särskilda översvämningsytor
 - Fördröjningsdammar
 - Underjordiska magasin

- Trög avledning (allmän mark)
 - Svackdiken
 - Diken och bäckar
 - Dagvattenkanaler
 - Filtervallar
- Samlad fördröjning (allmän mark)
 - Översvämningsytor
 - Stora fördröjningsdammar
 - Våtmarker
 - Underjordiska magasin

3.3 Exempel på öppna dagvattenlösningar

I detta avsnitt kommer ett antal hållbara dagvattenanläggningar att förklaras mer ingående. De anläggningar som fokus kommer att ligga på är liknande lösningar som de vi kan se i Augustenborg, med några undantag.

- Gröna tak
- Infiltration i mark
- Permeabla ytor
- Underjordiska magasin
- Svackdiken
- Breda avvattningsstråk
- Regnbäddar
- Fördröjningsdammar
- Dagvattenkanaler
- Mångfunktionella ytor

3.3.1 Gröna Tak

Gröna tak är typisk för *lokalt omhändertagande av dagvatten*. Genom att plantera ett växttäckte på takkonstruktionen kan man

minska avrinningen avsevärt. Tunna gröna tak, som är vanligast i Sverige, kan magasinera 50 procent av de vatten som faller på taken under året medan djupare gröna tak kan ta hand om omkring 75 procent. Dessa värden kommer dock från en samling av mindre regntillfällen. Taken kan endast ta upp de fem första millimetrarna, sedan är avrinningen 100 procent (Svenskt Vatten AB, 2011 a).

Intensiva, semi-intensiva och extensiva gröna tak är tre kategorier som man delar in gröna tak i. Ett intensivt tak består av buskar, rabatter och gräsmattor som alla kräver kontinuerligt underhåll, vilket lett till benämningen intensiva tak då de är "arbetsintensiva". Dessa kan byggas på underjordiska parkeringshus och liknande byggnader som kan bära tjockare lager med jord. Semi-extensiva tak är en enklare variant av intensiva tak, de är något tunnare. Man kan plantera basväxter och buskar. De är passande för tak i tätbebyggda områden. Dessa kan ha en tjocklek på 350 mm. Extensiva tak kräver ett väldigt tunt jordlager och behöver inte speciellt mycket underhåll. Sedumtak är de vanligaste extensiva taken och har en tjocklek på 50 – 150 mm (Byggros, 2016).



Figur 3.4 Extensiva gröna tak. (Byggros, 2016)

Gröna tak kan anläggas på både befintliga och nya byggnader. Det är dock viktigt att taket inte har för brant lutning och att takkonstruktionen är dimensionerad för att kunna bära den extra

vikt som växttäckte och ansamlat vatten innebär. Normalt läggs ett vegetationstäckte med tjocklek på 3-4 cm på ett dräneringsskikt som brukar vara några centimeter tjockt. Tillsammans väger dessa runt 40 – 60 kg/m² vilket är ungefär samma vikt som för takpannor, omkring 50 kg/m² (Stahre, 2004).

Gröna tak har haft en betydande ökning i Sverige de senaste åren. Förutom att vara vattenfördröjande har gröna tak även en isolerande effekt på byggnader samt att de påverkar mikroklimatet i den täta stadsmiljön då de verkar dämpande för höga och låga temperaturer (a.a).

I Tabell 3.1 presenteras tre alternativ av extensiva gröna tak. Det som skiljer dem åt är tjockleken och därmed även vattenupptagningsförmågan. Diadem 50 ses som ett extensivt tak medan Diadem 100-150 är semiextensiva. (Byggros, 2016) Vid djup på mer än 210 ses taken som intensiva och kan då ta hand om upp till 0,110 – 0,175 m³/m² (Mentens, et al., 2005).

Tabell 3.1 Gröna taks egenskaper. (Byggros, 2016)

| Typ | DIADEM 50 | DIADEM 100 | DIADEM 150 |
|------------------------------------------------------------|-----------|------------|------------|
| Lutning [°] | 0-20 | 0-10 | 0-10 |
| Vikt [kg/m ²] | 50 | 100 | 150 |
| Tjocklek [mm] | 55 | 95 | 135 |
| Vattenretention [%] | 50 | 60 | 60 |
| Maximal vattenupptagning [m ³ /m ²] | 0,015 | 0,030 | 0,030 |



Figur 3.4 Grönt tak på allmän toalett i området Gyllins Trädgård, Malmö.



Figur 3.5 Sedumtak på busshållsplats på Gustaf Adolfs Torg i Malmö. (Nilsson, 2013)

3.3.2 Infiltration i mark

Infiltration kan både ses som *lokalt omhändertagande* då det sker på privat mark, samt *fördröjning nära källan* då det sker på allmän platsmark. Traditionellt har dagvatten letts från taken genom hängrännor och stuprör till det kommunala dagvattensystemet (Stahre, 2004).

Avrinning från hårdgjorda takytor till dagvattensystemet är väldigt stor och går fort. Att koppla bort takvattnet från det traditionella systemet minskar mängderna dagvatten i systemet avsevärt. Man vill istället att så mycket vatten som möjligt ska kunna infiltrera ner i omgivande permeabla ytor (Stahre, 2004). I Malmös dagvattenstrategi från 2008 har kravet ställts att 50 % av dagvattnet från hårdgjorda ytor ska ledas ut på infiltrationsytor och fördröjas innan de når det kommunala systemet (Malmö Stad, 2008).

Alla infiltrationsytor måste ha en lösning för eventuellt överskottsvatten som inte infiltrerar. Detta kan vara en kupolbrunn i lågpunkten på infiltrationsytan som är ansluten till det kommunala dagvattensystemet (Stahre, 2004).

Förutsatt att grundvattennivån ligger på betryggande djup så kan områden med ytor som har god infiltrationsförmåga och genomsläppliga underliggande lager ansamlas en hel del vatten. Är det underliggande lagret för tätt så kommer knappt något vatten att infiltrera. För att vattnet ska infiltrera väl krävs det att matjorden innehåller en viss del sand och grus. Matjordslagret ska minst vara 15 cm (Svenskt Vatten AB, 2011 a).

Vid schablonmässig beräkning av behövd gräsyta för infiltration så säger man att gräsytan måste vara en till två gånger större än takytan som den ska ta upp vattnet från (Stahre, 2004).

I områden där lokal infiltration inte är möjlig bör dagvattnet om möjligt transporteras till nedströms belägna infiltrationsytor (Svenskt Vatten AB, 2011 a).



Figur 3.6 Höger: Avrinningsränna till infiltrationsyta på en skola i Gyllins Trädgård i Malmö. Vänster: Infiltration på gräsmatta med kupolbrunn i området Gyllins Trädgård i Malmö.

3.3.3 Permeabla ytor

Vattengenomsläppliga beläggningar kan implementeras på både privat och allmän mark. Istället för asfalt så använder man material som låter vattnet infiltreras ned till en vattengenomsläpplig dränerad överbyggnad. (Svenskt Vatten AB, 2011 a) Exempel på genomsläppliga material är singel eller naturgrus, singel som stabiliseras med särskilda rasternät, natursten med genomsläppliga fogar, hålsten av betong och genomsläpplig asfalt.

Tidigare erfarenhet visar på att genomsläppliga beläggningar kan fungera i 15 – 20 år utan speciellt mycket underhåll. Vid större belastning kan igensättning ske redan efter 5 – 6 år. Därför kan det vara lämpligast att implementera dessa lösningar på områden där tung trafik inte väntas. Parkeringsplatser är områden där det är relativt vanligt att se genomsläppliga beläggningar (Stahre, 2004).



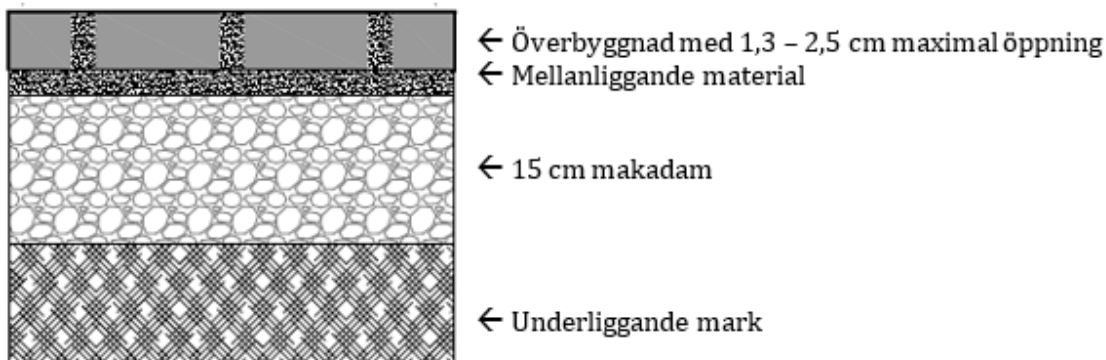
Figur 3.7 Permeabla ytor på parkeringsplatser i området Gyllins Trädgård i Malmö. Till vänster natursten med genomsläppliga fogar och till höger hålsten av betong med mellanliggande gräs.

Det är svårt att beräkna infiltrationskapaciteten för dessa ytor då de på sikt kommer att sättas igen. Om infiltrationskapaciteten minskar kraftigt måste materialet i hålen bytas ut (Svenskt Vatten AB, 2011 a).

Magasineringskapaciteten hos permeabla ytor innefattar kapaciteten i överbyggnaden, kapaciteten i underlaget, samt mängden vatten som kan infiltrera till underliggande mark. Det är den effektiva porositeten i materialen som ger den teoretiska magasineringsvolymen (Pervious Pavement, 2011).

Lerjordar kan hindra infiltrationen och bör därför grävas ur och bytas mot ett alternativt material. Tjockleken på underliggande jordlager måste vara så pass stor att det kan hantera volymen av

det dimensionerande regnet. Då underlaget är nästintill ogenomsläppligt så kan man installera ett dräneringsrör som kopplas till ett större magasin. (Pervious Pavement, 2011)



Figur 3.8 Alternativ på uppbyggnad av permeabel yta bestående av natursten. (City of Portland, 2016)

3.3.4 Underjordiska magasin

Underjordiska magasin kan både ses som lokalt omhändertagande av vatten, fördröjning nära källan och samlad fördröjning.

Underjordiska magasin kräver till skillnad från dammar, och våtmarker inte speciellt mycket yta. De är därför bra alternativ för tätt bebyggda områden eller där markpriset är dyrt. Underjordiska magasin kan till exempel placeras under parkeringsplatser (USEPA, 2001).

Dessa system magasinerar vatten i stora rör eller kassetter. Antingen når dagvattnet magasinerna genom ett rör som är kopplat till en eller flera dagvattenbrunnar eller så kan vattnet infiltrera direkt genom en permeabel överbyggnad. Det ansamlade dagvattnet magasineras under regntillfällena och kan sedan släppas ut i marknivå när regnet avtagit. Utflödesledningarna är

dimensionerade för att släppa ett flöde som liknar det naturliga flödet, så som flödet var innan bebyggelse. På så sätt hålls toppflödet nere. Magasinen kan även designas så att dagvattnet kan infiltrera successivt till omkringliggande mark, förutsatt att marken är permeabel (a.a).

Dessa magasin kan byggas i betong, plast eller stål. Alla alternativen har sina fördelar och nackdelar. Magasinen är inte byggda för att rena vattnet, så det är viktigt att ha någon slags rening innan dagvattnet når systemet, till exempel svackdiken (a.a).

Fördelar med dessa magasin är att de minskar toppflödet samtidigt som de inte tar speciellt mycket yta i anspråk samt att det går relativt snabbt att anlägga. Nackdelarna är att de i sig själva inte har en renande effekt på dagvattnet samt att de kan vara svåra att göra rent, om man jämför med öppna system (a.a).

Kassettmagasin

Kassettmagasin byggs av moduler som består av polypropen och omges av geotextil eller membran som ser till så att inte smuts och jord kommer in i anläggningen, samtidigt som en del vatten kan infiltrera ner i jorden. Det som inte kan infiltrera avleds till recipient. Kassetterna monteras ihop till sammanhängande magasin som dimensioneras efter områdets behov. De är väldigt utrymmeseffektiva och har en våtvoly m på upp till 96 procent beroende på vem som fabricerar. Innebörden av detta är att de kräver mindre än två tredjedelar av ytbehovet jämfört med traditionella konstruktioner av makadam. Genom att strypt bottenutlopp sker utjämningen. Man installerar oftast kassetterna över grundvattennivå. Systemet är uppbyggt av moduler. QBlock är ett kassettmagasin från ViaCon och kan enkelt kapas till lämplig

storlek med vanlig såg. Dess hålrumsvolym uppgår till 95 % (Svensk Byggtjänst, 2016).



Figur 3.9 Kassettmagasin (Vinnova, 2014)

Dagvattenkammare

Dagvattenkamrarna är utformade som valv och installeras på ett lager av kompakterad makadam. De omges av en geotextil för att förhindra små partiklar från jorden att tränga in. Valven täcks med ett lager makadam som ger stabilitet samt skapar ytterligare magasineringsvolym. Likt kassettmagasinen är även dessa gjorda av polypropen. De är konstruerade för att klara stora laster (Vinnova, 2014).



Figur 3.10 Dagvattenkammare (Vinnova, 2014)

3.3.5 Öppna avvattningsstråk och fördröjningsmagasin

Öppna avvattningsstråk faller under kategorin *trög avledning* och tar hand om det vatten som infiltrationsytorna inte kan ta upp. De både fördröjer och renar vattnet. Det finns både smala och breda avvattningsstråk. De smala är oftast i anslutning till en eller flera fastigheter medan de breda avleder vatten inom ett avrinningsområde. Stråken kan förstärkas med ett underliggande makadammagasin (Svenskt Vatten AB, 2011 a).

Svackdiken

Svackdiken är en typ av avvattningsstråk. De är gräsbeklädda diken med flacka slänter som oftast placeras längs de hårdgjorda ytor som de väntas avvattna. De är utformade för att förbättra infiltration, reducera flödes hastigheten samt för att fånga upp föroreningar så att de inte rinner med ut i recipienten. (EPA, 1999) Kapaciteten för ett svackdike med svag släntlutning beräknas vara nästan tio gånger så stor som en rörledning med samma fyllnadshöjd, Figur 3.2 på sidan 29 (Svenskt Vatten AB, 2016).

Svackdiken är vanliga vid omhändertagande av dagvatten inom stora fastigheter, industrifastigheter och flerbostadsområden. När det inte regnar är de ofta torra och vid regn kan de det mesta av det avrinnande dagvattnet utan nämnvärd ansamling i diket (Svenskt Vatten AB, 2011 a).



Figur 3.11 Svackdiken i Augustenborg (V) och Gyllins Trädgårdar (H)

Flödeskapaciteten i ett svackdike påverkas av råheten, friktionen mellan vattnet och gräsytan, samt lutningen i flödesriktningen. Råheten beror på vegetationsval samt hur väl skött grönytan är (Svenskt Vatten AB, 2011 a).

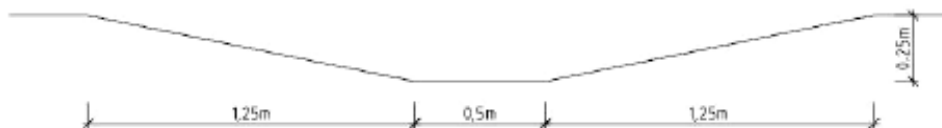
Det är viktigt att upprätthålla ett underhållningsschema för svackdiken så att de behåller sin kapacitet. Efter stora regn bör ansamlingar i dikena tas bort inom 24 timmar (EPA, 1999).

Det finns både dräneringsstråk som är kopplade till ett dagvattenintag och de som inte är det (Svenskt Vatten AB, 2011 a).

Maximala bredden på ett svackdike är oftast bestämt utifrån marktillgång och områdets utformning. Sidoslutningen på svackdiken brukar vara mellan 1:10 – 1:4 medan det är 1 – 4 % i longitudinell riktning (Moreton Bay Waterways and Catchments Partnership, 2006).

I Figur 3.12 presenteras ett svackdike där bredden har satts till tre meter, då detta anses som maximala bredden för att kunna se det som en kompakt lösning. Med denna utformning fås den största

uppsamlingsvolymen för en total bredd på tre meter, jämfört med om man skulle ha ett mittparti på en meter och sidor med en meter (Haeggblom & Hallerth, 2016).



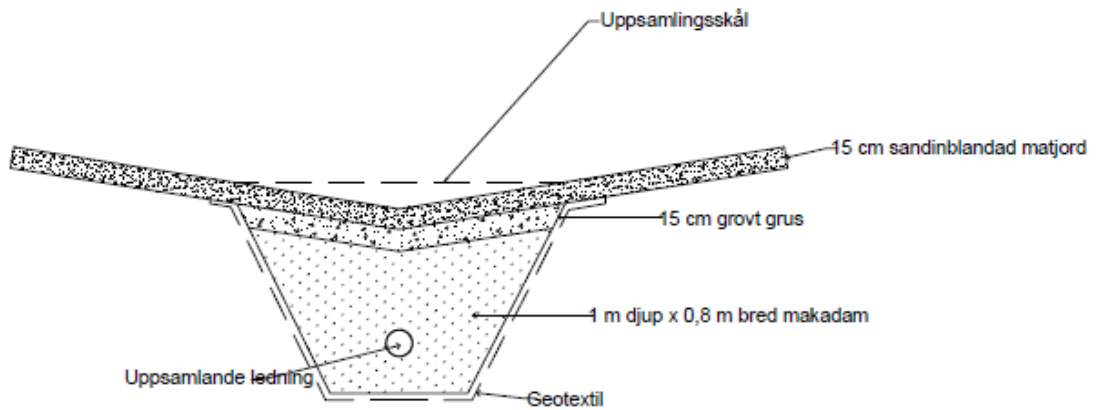
Figur 3.12 Exempel på svackdikes utformning. (Haeggblom & Hallerth, 2016)

För ett mjukt skålat avvattningsstråk inom bostadsområden och längs gång- och cykelvägar kan uppbyggnaden se ut som följande:

- 15 cm sandinblandat matjordsskikt med gräsförsedd överyta. Dominerande kornstorlek 0,1 – 0,9 mm. Finmaterial 0,1 mm < 16 % samt organiskt material som är mindre än 2 viktprocent.
- 15 cm grusig sand med kornstorlek d_{10} ca 0,5 mm och d_{60} ca 0,4 mm.
- 1 m djup och ca 0,8 m bred makadamfyllning. 4-16 mm
- Geotextil läggs mellan befintlig jord och dräneringsstråket. (Svenskt Vatten AB, 2011 a)

Dikena har oftast ett stenfyllningsmagasin i botten som ökar magasineringkapaciteten. Dessa kan även kallas "stenkista" och "perkulationsmagasin". De är fyllda med singel, makadam eller något annat grovt material (Stahre, 2004).

Tömning av magasinen sker genom att vattnet perkolerar ut i omgivande marklager eller ett speciellt anlagt dräneringssystem (a.a). I Figur 3.13 kan man se hur uppbyggnaden av en stenkista kan se ut.



Figur 3.13 Exempel stenkista i ett grunt avvattningsstråk.

Stenkistor kan även anläggas då takvatten inte kan transporteras ut på en infiltrationsyta och kan således infiltrera en del av vattnet. Dessa magasin har dock en relativt begränsad magasinyta (Svenskt Vatten AB, 2011 a). I Figur 3.14 kan man se överbyggnaden av en stenkista i området Gyllins Trädgård.



Figur 3.14 Stenkista i Gyllins Trädgård i Malmö.

Breda avvattningsstråk

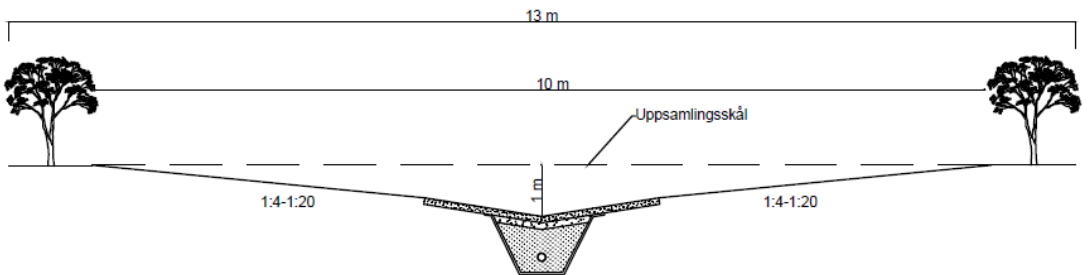
Öppna fördröjningsmagasin placeras ofta på ytor som vanligtvis används till andra ändamål, i parker och på lek- och spelytor. Det är enkelt att anlägga dessa lösningar och eftersom de inte ges en permanent vattenspiegel kan man använda ytorna till annat. För att kunna använda ytan så snabbt som möjligt efter nederbörd måste den dräneras (Svenskt Vatten AB, 2011 a).

I Figur 3.15 visas ett öppet avvattningsstråk i Augustenborg. Under torra väderförhållanden har ytan ett rekreativt värde och vid regn så kan vatten magasineras både i avvattningstråket och gräsytan intill.



Figur 3.15 Brett avvattningsstråk i Augustenborg.

Breda avvattningsstråk rekommenderas ha en bredd på minst tio meter, tretton om man inkluderar växtytorna omkring (a.a). Slänterna ska vara mellan 1:5 – 1:20 och ett rekommenderat maximalt djup på anläggningen är en meter (Malmö Stad, 2008).



Figur 3.16 Exempel på utformning av brett svackdike, inspirerad av Malmö Stad.

3.3.6 Regnbäddar

Regnbäddar är dagvattenanläggningar som är både effektiva för fördröjning och rening av dagvatten. Lösningen är väl lämpad för små områden, speciellt i tät bebyggelse. De är utformade på så vis att en mer naturlig hydrologi uppnås med hjälp av fysiska, kemiska och biologiska processer. Genom att sänka ner växtbädden i förhållande till omgivande mark kan man lagra dagvatten ovanför biofiltrets yta. Jordens och makadamens porvolym ger en viss lagring och fördröjning av avrinning (Fridell & Jergmo, 2015). I Figur 3.17 illustreras en nedsänkt regnbädd.



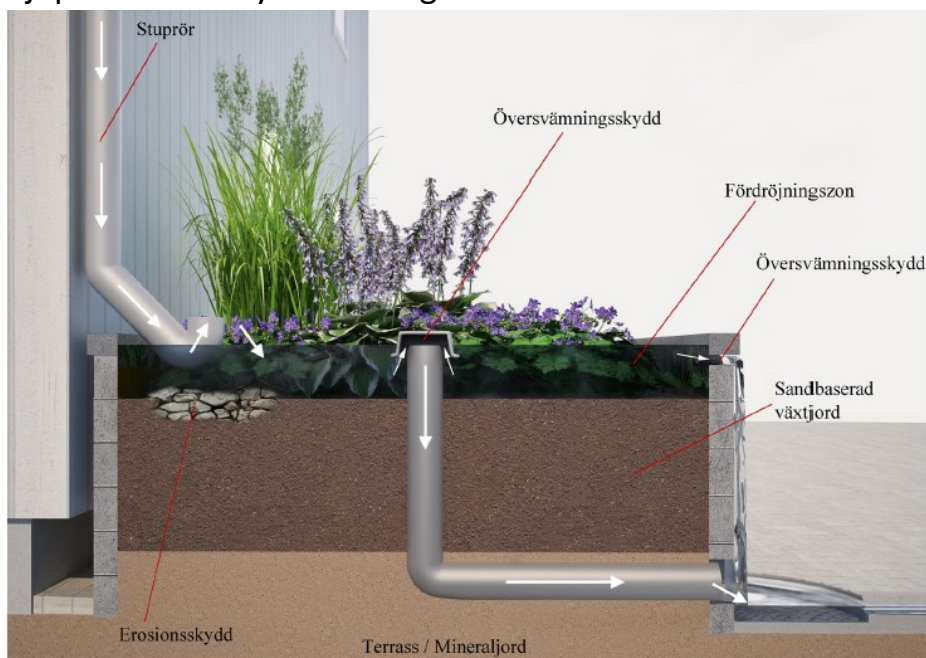
Figur 3.17 Nedsänkt regnbädd. (Fridell & Jergmo, 2015)

Det finns fem olika grundkonstruktioner, alla har inlopp, fördröjningszon, erosionsskydd, växtjord, och bräddavlopp. Det som skiljer systemen från varandra är främst avvattningen av konstruktionen (a.a).

I Figur 3.18 kan man se uppbyggnaden av en regnbädd där det är möjligt för dagvattnet att infiltrera ner till grundvattnet (a.a).

I North Carolina gjordes en undersökning under två års tid av en stor regnbädd. Resultatet visade att tre procent av inkommande vatten lämnade anläggningen via avdunstning, 53 procent via dräneringsledning och 32 procent via perkolation ner i terrassen. Simuleringar har gjorts där man grovt kan säga att biofiltrets yta borde vara 2 – 10 procent av den yta som genererar vatten (a.a).

I Sverige är det än så länge relativt ovanligt med regnbäddar. Det finns begränsat med kunskap om hur regnbäddarna fungerar under kyla. Genom att ha grövre material i filtret så kan man öka infiltrationskapaciteten under de kallare månaderna. Har man ett djupare filter skyddas viktiga delar i filtret under vintertid (a.a).

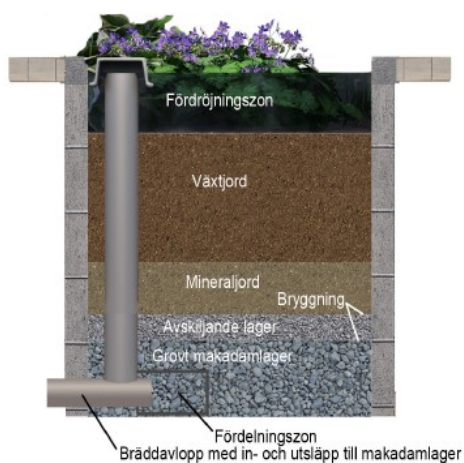


Figur 3.18 Uppbyggnad av regnbädd utan tät markduk, för områden där vatten kan infiltrera till grundvattnet. (Fridell & Jergmo, 2015)

Rekommendationer för uppbyggnaden av filterbädden varierar. Beroende på om det är vegetationen, fördröjningskapaciteten eller rening man ser till så är behoven annorlunda. Ur ett fördröjningsperspektiv vill man att filtermaterialet ska kunna släppa igenom stora mängder vatten, för reningsaspekter är ler med låg infiltrationshastighet bra, vilket dock leder till syrebrist hos växterna. Vid anläggning av gräsyta eller perennplantering borde filtret vara minst 400 mm, för buskar minst 600 mm och för träd minst 800 mm (a.a).



Figur 3.19 Regnbädd med tät markduk. (Fridell & Jergmo, 2015)



Figur 3.20 Uppbyggnad av jordlager i regnbädd. (Fridell & Jergmo, 2015)

3.3.7 Dammar

Dammar faller inom kategorin *samlad fördröjning*. Fördröjningsdammar med permanent vattenspiegel är ett effektivt sätt att bromsa dagvattenavrinningen. De rensar vattnet från föroreningar, samtidigt som de kan bli ett attraktivt inslag i ett bostadsområde (Stahre, 2004). För områden med dålig infiltrationsförmåga är fördröjningsdammar ett bra alternativ (City of Portland, 2016). Fördröjningsdammar placeras ofta långt nedströms i området. När man anlägger en damm finns det ett flertal aspekter man måste ha i åtanke. För att inte vattenytan ska fyllas med alger och bilda dålig lukt och således leda till att dammen blir mindre attraktiv är det viktigt att hålla en viss kvalitet på vattnet i dammen. Omsättningstiden på dammen bör vara ungefär ett dygn. Djupet bör vara minst en meter (Svenskt Vatten AB, 2011 a).

I Figur 3.21 visas en damm där vattnet kan rinna över i en ränna som är kopplad till en kanal som transporterar dagvattnet längre ner i systemet om vattennivån blir för hög. I Figur 3.22 illustreras två dammar som är kopplade till varandra genom en mindre kanal. När ett större regn inträffar svämmer denna kanal över och den grönyta som finns mellan de två dammarna fungerar som en översvämningssyta.

Fördröjningsvolymen är den del av dammen som utgörs av volymen över den permanenta vattennivån och över den högsta dämningnivån i dagvattenledningen eller mottagande recipient. För att behålla den permanenta vattennivån kan botten behöva täckas med en tät duk. För att förhindra föroreningar kan dammen förses med passande vegetation (Svenskt Vatten AB, 2011 a).

Fördröjningsdammar i industriområden kan förutom att användas som uppsamling av dagvatten även utnyttjas till att fånga upp olja och andra föroreningar från de hårdgjorda ytorna (Stahre, 2004). I bilaga 1 finns tre olika utformningar på dammar i Augustenborg.



Figur 3.21 Fördröjningsdamm i Augustenborg.



Figur 3.22 Damm i Augustenborg vid permanent vattennivå (V) (Westlin, 2016) och vid regn (H) (Stahre, 2008)

3.3.8 Beklädda dagvattenkanaler

I speciella situationer kan man överväga att anlägga öppna dagvattenkanaler för avledning av dagvatten vid nederbörd. De ses som ett tillskott i omgivningen samt att det kan synliggöra och

ge förståelse för en viktig del av samhällets infrastruktur (Svenskt Vatten AB, 2011 a).

Eftersom anläggningarna är kostsamma är de bara aktuella i speciella situationer. Detta kan vara då de topografiska förhållandena bara tillåter ytliga dagvattensystem (a.a).

Ännu en positiv aspekt av öppna kanaler är att man inte tappar höjd, som ett nergrävt rör skulle innebära, vilket kan vara bra då man ska koppla på vattnet på en annan ledning. Som magasin är öppna kanaler dock inget vidare volymeffektivt alternativ (Aguayo, 2016).

I Augustenborg har ett mindre magasin med liknande vegetation som en våtmark placerats längs en del av kanalen dit vattnet kan föras då den dimensionerande nivån överskrids.



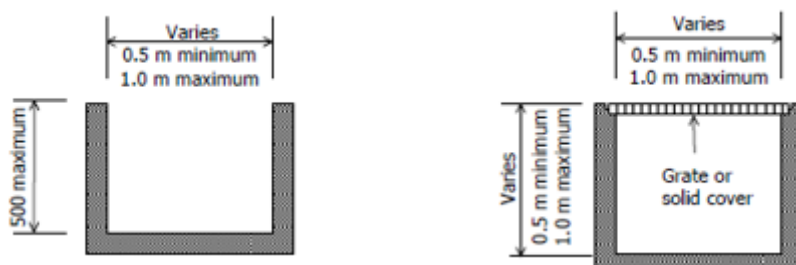
Figur 3.23 Öppen kanal i Augustenborg.



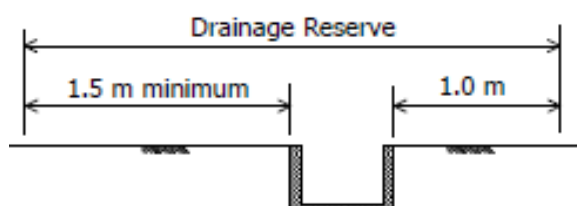
Figur 3.24 Regnbädd kopplad till öppen otäckt kanal på en skola i området Gyllins Trädgård.

Eftersom beklädnaden på kanalen är den dyraste komponenten så vill man hålla tvärsnittsperimetern så liten som möjligt. Teoretiskt är en semi-cirkulär form bäst för hydraulisk kapacitet och minst perimeter, det är dock billigare att bygga trapezodiala kanaler, därför byggs oftast dessa (svackdiken). Av säkerhetsskäl ska otäckta kanaler inte vara djupare än 0,6 m medan täckta kanaler kan vara upp till en meter djupa. Bredden ska vara 0,5-1,0 m. Kanalerna ska vara dimensionerade så att de vid maximal kapacitet fortfarande har fem centimeter mellan vattenyta och kanalkant (Ministry of Natural Resources and Environment, 2016).

Anrinrännor är ett bra alternativ för att ta hand om dagvatten från stora ytor som torg, parkeringsplatser och idrottsplatser. Det är oftast utloppet som bestämmer kapaciteten på hur mycket vatten avvattningsrännan kan ta hand om (Byggros, 2015).



Figur 3.25 Utformning av för täckta och otäckta beklädda kanaler. (Ministry of Natural Resources and Environment, 2016)



Figur 3.26 Placeringsförutsättningar för beklädda kanaler. (Ministry of Natural Resources and Environment, 2016)

3.3.9 Mångfunktionella ytor

Mellan 2010 och 2011 inträffade tre förödande skyfall i Köpenhamn som ledde till att man började utforma en skyfallsplan (Ramböll, 2015). I denna fokuserar man på att hålla vattnet på ytan istället för att bygga stora dyra underjordiska ledningar. Några exempel på åtgärder är "Skyfallsgator" som samlar upp och transporterar vatten från sårbara områden och "Uppsamlingsgator" som ofta placeras högre upp i systemet och ser till så att vattnet stannar upp och inte når de lägre belägna sårbara delarna. Båda lösningarna har ofta stor magasineringkapacitet (a.a).

Multifunktionella ytor, såsom parker och lekplatser är viktiga i skyfallsplanen då de kan användas under torra väder men översvämmas vid regn. Ett exempel på en multifunktionell yta är "Cloudburst Boulevard", ett projekt av Ramböll med syfte att minska översvämningarna i Köpenhamn. Denna kan användas i rekreativt syfte vid torrt väder men blir till en mindre flod under regn. Kapaciteten på detta grönområde är beräknat till $3,3 \text{ m}^3/\text{m}^2$. (Ramböll, 2015)



Figur 3.27 Cloudburst Boulevard, Copenhagen (Ramböll, 2015)

På Augustenborgsskolans gård har en amfiteater byggts i syfte att magasinera vatten vid regn. Dess volym är ca 61 m^3 , från observationer i GIS, ytanspråket är ca 165 m^2 vilket ger en magasineringsskiktet per ytanspråk på $0,37 \text{ m}^3/\text{m}^2$.



Figur 3.28 Amfiteater på skolgård i Augustenborg. (Björlin, 2014)

3.4 Föroreningar

Vegetationsytor, infiltrations- och dräneringsstråk har inte bara fördröjande egenskaper. Genom att vattnet ges möjlighet att passera flera markskikt renas de från föroreningar som ansamlats till vattenpartiklarna från avgaser bland annat (Svenskt Vatten AB, 2011 a).

Olika ytor väntas ge olika föroreningshalter. Schablonhalter har tagits fram beroende på bebyggelse och markanvändning och vilka föroreningar dessa förväntas ge. På så sätt kan man bestämma om dagvattnet bör renas eller inte. I Malmö Stads dagvattenstrategi från 2008 presenteras en tabell där dagvattnet delas in i tre kategorier; låga, måttliga och höga halter beroende på föroreningar samt risk för biologiska effekter. Dessa tre klasser grundas på Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag. Tabellen är baserad på mätningar av kemiska egenskaper och inte toxologiska effekter. För större parkeringsplatser, industrifastigheter med miljöfarlig verksamhet

och trafikleder med mer än 30 000 fordon per dygn ska rening alltid ske. För parker, naturmarker, lokalgator med mindre än 15 000 fordon per dygn och småhusområden i ytterstaden är det inte nödvändigt med rening. I innerstaden och bostadsområden i ytterstaden där det även finns arbetsområden måste dagvattnet undersökas från fall till fall beroende på områdets karaktär och dess recipient (Malmö Stad, 2008).

3.5 Återkomsttid och regnets varaktighet

Återkomsttid visar på säkerhetsnivå och används ofta vid hydrologisk dimensionering. Informationen kommer från historiska mätningar. Återkomsttiden för ett regn med samma regnvolym blir större vid korta regn än längre. Vid dimensionering av nya dagvattensystem är minimikravet för återkomsttid för fylld rörledning 5 år för tät bostadsbebyggelse och 10 år för centrum och affärsområden. Olika processer har olika tidsskala. Då man ska dimensionera snabb dagvattenavledning är det korta förlopp som är dimensionerande, innebärande regn som varar under tio minuter till två timmar. För anläggningar med tröga magasinierande förlopp tar man hänsyn till regn med varaktighet av sex till 24 timmar (Svenskt Vatten AB, 2016).

3.6 Permeabilitet, kornstorlek, effektiv porositet & infiltrationskapacitet

Permeabilitet, jordens vattengenomtränglighet, även känt som hydrauliska konduktivitet har betydelse vid dimensionering av bland annat jorddammar och för att beräkna infiltration. Permeabiliteten, k-värdet, säger hur snabbt vatten kan transporteras ner i en jordart per tidsenhet. Oftast räcker det med

överslagsräkning för permeabilitet. Överslagsvärden för olika kornfraktioners permeabilitet presenteras i tabell 3.1. Ofta presenteras jordartsandelarna i storlek och inte namn, för att kunna finna vilken jordart det är för olika kornstorlekar kan Figur 3.291 tas till hjälp (Larsson, 2008).

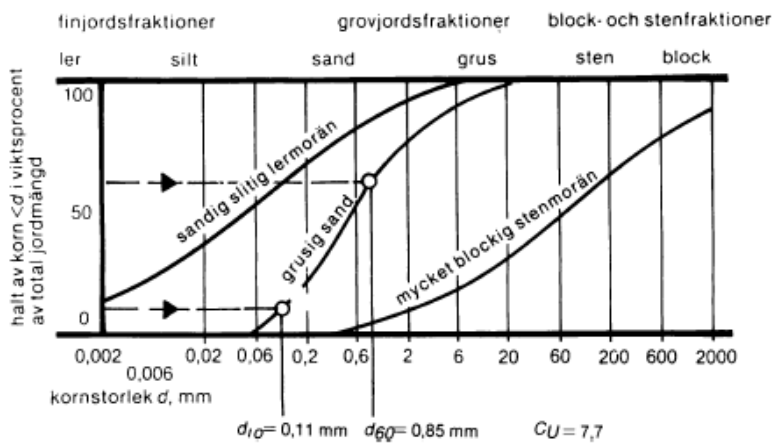
Infiltrationshastigheten hos matjord ligger mellan 20-40 mm/h (Isberg, 2015).

Tabell 3.1 Överslagsvärden på permeabilitet hos kornfraktioner och ensgraderade jordar. (Larsson, 2008)

| Jordart | Permeabilitet [m/s] |
|--------------|------------------------|
| Grusig morän | 10^{-5} - 10^{-7} |
| Sandig morän | 10^{-6} - 10^{-8} |
| Siltig morän | 10^{-7} - 10^{-9} |
| Lerig morän | 10^{-8} - 10^{-10} |
| Moränlera | 10^{-9} - 10^{-11} |
| Fingrus | 10^{-1} - 10^{-3} |
| Grovsand | 10^{-2} - 10^{-4} |
| Mellansand | 10^{-3} - 10^{-5} |
| Finsand | 10^{-4} - 10^{-6} |
| Grovsilt | 10^{-5} - 10^{-7} |
| Mellansilt | 10^{-7} - 10^{-9} |
| Lera | $<10^{-9}$ |

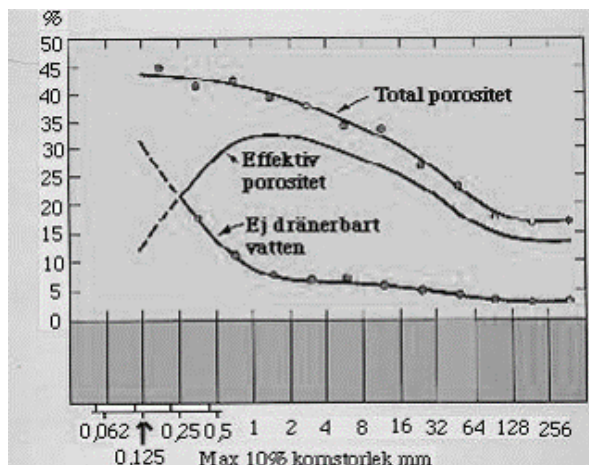
Tabell 3.2 Överslagsvärden för infiltrationshastigheten av olika kornfraktioner. (Isberg, 2015)

| Jordart | Infiltrationshastighet (mm/h) |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Sand och grus | 180 |
| Inslag av sand och grus | 72 |
| Morän | 36 |
| Inslag av silt, lera och torv | 18 |
| Silt och lera | 4 |



Figur 3.29 Namn och kornstorleksfördelning. (Larsson, 2008)

Effektiv porositet innebär den sammanhängande hålrumsvolym som krävs för att vatten ska kunna passera genom ett jordmaterial. En av anledningarna till att leror och andra småkorniga jordarter har så dålig permeabilitet är att hålrummen inte är sammanhängande, vilket leder till att vatten inte kan transporteras i dem. Grövre kornfraktioner som sand, grus och sten har en effektiv porositet relativt nära den totala porositeten, medan silt och ler har väldigt låg effektiv porositet. Grovsand och fingrus har en effektiv porositet på 30-35 %, finsand (0,06-0,2 mm) har i praktiken väldigt liten effektiv porositet (Svensson, 1996). I figur 3.32 kan man se effektiva porositeten för olika kornstorlekar.



**Figur 3.30 Porositet, effektiv porositet och total porositet.
(Svensson, 1996)**

3.7 Långsiktig hållbar samhällsutveckling

I Riodeklarationen och Agenda 21 som utvecklades i början på 1990-talet lanserades begreppet långsiktig hållbar samhällsutveckling. Idén var att man i samhällsplaneringen skulle behandla både tekniska, sociala och ekonomiska aspekter (Stahre, 2004).

I en artikel i tidskriften VATTEN har en utvärdering av dagvattnets hållbarhet i Augustenborg gjorts. En subjektiv metod utvecklades för att utvärdera de olika hållbara dagvattenlösningarna i Augustenborg. En skala på 0-10 användes för poängsättning för lösningarnas förmåga att uppfylla, tekniska, miljömässiga, ekonomiska och sociala aspekter. Dessa viktades sedan lika och sattes ihop till ett hållbarhetsindex. Resultatet av denna metod påvisar att öppna dagvattensystem är en mer hållbar lösning än de traditionella (Ludzia, et al., 2014).

Vid utformningen av indexet tog man hjälp av kunskap från experter inom dagvattenhantering samt brukare av det öppna

dagvattensystemet. För den *tekniska aspekten* kollade man på fördröjning, reducering och hur pass underhållsfri lösningen var. De *miljömässiga aspekterna* var föroreningsreducering, lokalt klimat och bidragande till ökning av områdets biologiska mångfald. De *ekonomiska aspekterna* var kostnaden för att anlägga och driftkostnader. Slutligen så var den *sociala aspekten* fokuserad på förbättringen av boendemiljön, hur bra alternativet fungerar som träffpunkt samt hur bra skötseln uppfattades av brukarna (a.a).

Tabell 3.3 Hållbarhetsindex för specifika lösningar på dagvattenhantering. Alla aspekter är generella förutom den sociala aspekten som är specifikt för Augustenborg. (Ludzia, et al., 2014)

| | Teknik | Miljö | Ekonomi | Socialt | Index |
|-----------------------|--------|-------|---------|---------|-------|
| Gröna tak | 4,9 | 6,9 | 5,0 | 3,3 | 5,0 |
| Vanliga tak | 2,3 | 0,1 | 5,9 | 4,2 | 3,1 |
| Infiltrationsytor | 5,3 | 6,3 | 5,0 | 6,8 | 5,8 |
| Hårdgjorda ytor | 1,9 | 0 | 6,1 | 4,4 | 3,1 |
| Öppna kanaler | 4,7 | 5,2 | 5,3 | 5,3 | 5,1 |
| Rörledning | 2,0 | 0,2 | 5,7 | 3,0 | 2,7 |
| Våta dammar | 6,7 | 8,1 | 5,9 | 7,0 | 6,9 |
| Underjordiska magasin | 4,3 | 0,7 | 5,4 | 4,8 | 3,8 |

4 Resultat

I detta avsnitt kommer ytanspråket av tio olika hållbara dagvattenhanterings-anläggningar att analyseras. Tillsammans med uppgifter om nederbörd och hårdgjorda ytor från tidigare utredningar så är målet att få en övergripande bild av magasineringsskapaciteten hos olika dagvattenanläggningar. Utöver detta se om det är möjligt att magasinera stora mängder dagvatten i den befintliga stadsmiljön med hjälp av dessa.

Sweco har tagit fram uppgifter över hur stor andel hårdgjorda ytor som är kopplade till den sträcka som avloppstunneln väntas hantera. Tillsammans med uppgifter om regnets intensitet och varaktighet kan en volym fås fram över hur mycket dagvatten som kommer att nå tunneln, med antagande att allt vatten rinner ner i ledningarna utan lokal fördröjning och magasinering.

För att kunna identifiera om blå-gröna lösningar är ett rimligt alternativ, ur ett ytanspråksperspektiv, så beräknas magasineringsskapaciteten hos de olika anläggningarna per upptagen yta fram. Eftersom det är relativt fritt hur utformningarna på öppna dagvattenanläggningar kan se ut, så har utformningsalternativ tagits fram genom uppgifter från litteraturstudien och kravet på att lösningen måste passa in i den befintliga stadsmiljön.

Anläggningarnas geometriska utformning, tjocklek på jordlager och de olika jordlagrens effektiva porositet används för att beräkna den totala magasineringsskapaciteten. Detta jämförs sedan med den yta som anläggningen tar upp och på så vis kan en siffra tas fram över magasineringsskapacitet per upptagen yta.

Från tidigare studier fås uppgifter om mängden av de olika dagvattenanläggningarna som finns i Augustenborg och tillsammans med de framtagna magasineringsskapitetssiffrorna beräknas den totala volymen som dagvattenanläggningarna i Augustenborg kan magasinera.

Division av den totala volymen dagvatten som måste magasineras över hela tunnelns avrinningsområden görs med den volym som dagvattenanläggningarna i Augustenborg hanterar. Detta ger en övergripande bild av hur många områden som skulle behövas med samma dagvattensystem som Augustenborg för att hantera den totala volymen dagvatten som väntas nå avloppstunneln.

Möjliga områden för ombyggnation har identifierats med hjälp av kartor som visar vilka områden i Malmö som är kopplade till det kombinerade ledningsnätet och samtidigt är en del av stadskanalens avrinningsområde.

4.1 Dimensionerande flöde

Enligt uppgifter från utredningen som Sweco gjort på uppdrag av VA-Syd är det 641 hektar hårdgjorda ytor som tunneln förväntas hantera dagvatten ifrån. I utredningen gjorde man en datorsimulering med ett CDS- regn. Eftersom det är den totala volymen som är intressant så görs förenklingen att använda blockregn i dessa beräkningar, vilket innebär att regnet är fördelat jämnt under dessa sex timmar. Alltså får man inte med några toppar. Ett sextimmars blockregn med en återkomsttid på två år ger en intensitet på $12 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$ och en total volym motsvarande 26,1 mm.

Intensitet = $12,1 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$

Yta = 641 ha

$$\text{Intensitet x yta} = 12,1 \times 641 = 7756 \text{ l/s} = 7,76 \text{ m}^3/\text{s}$$

Detta innebär att dagvattenflödet in i tunneln vid ett 2-års regn kommer att vara **7,76 m³/s**.

Eftersom maxkapaciteten till Sjölunda reningsverk är 3,5 m³/s så måste ett flöde fördröjas.

$$7,76 \text{ m}^3/\text{s} - 3,5 \text{ m}^3/\text{s} = 4,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Under sex timmar blir volymen:

$$4,3 \times 60 \times 60 \times 6 = 9,3 \times 10^4 \text{ m}^3$$

4.2 Infiltrationshastighet

När man ser till magasinering i gräsytor, svackdiken, breda avvattningsstråk, regnbäddar och permeabla ytor så har infiltrationshastigheten betydelse. Är regnets hastighet större än infiltrationshastigheten kommer avrinning att ske. Tunneln är dimensionerad för ett sextimmars regn som under denna period ger 26,1 mm nederbörd, det vill säga 26,1 mm under sex timmar. Detta innebär att per timme faller

$$26,1 \text{ mm}/6 \text{ tim} = 4,35 \text{ mm}/\text{h}$$

och per sekund

$$26,1 \text{ mm}/(6 \text{ tim} \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ sek}) = 0,0012 \text{ mm}/\text{s} = 1,2 \times 10^{-6} \text{ mm}/\text{s}$$

Sandinblandad matjord har en infiltrationshastighet på 20-40 mm/h (Isberg, 2015). Infiltrationen till matjorden bör därför inte vara ett problem.

Sandinblandad matjord består av 80 % grusig – sandig morän vilket Tabell 3. visar har en permeabilitet på $10^{-5} - 10^{-8}$ m/s, ett medelvärde sätts på **$10^{-6,5}$ m/s**.

16 % består av sandig - siltig morän vilka har permeabilitet på 10^{-6} – 10^{-9} , vilket sätts till ett medelvärde på $10^{-7,5}$ m/s.

Den sammansatta permeabiliteten blir i ett spann av **10^{-7} m/s**.

Detta innebär att permeabiliteten är något mindre än hastigheten på det fallande regnet, vilket leder till att allt vatten inte kan transporteras direkt ner i jorden. Det kan vara värt att ha detta i åtanke vid dimensionering av bland annat dammar och svackdiken då dessa kommer att behöva hantera en del av vattnet som i teorin skulle kunna magasineras i gräsytor, men som i praktiken, på grund av för låg permeabilitet, inte hinner sjunka ner i markytan. Man borde ta hänsyn till detta vid design av permeabla ytor så att man uppmuntrar vattnet att stanna på ytan så att det successivt kan sjunka ner. Till exempel kan man se till att gräsytor har en upphöjd sidokant, så att vattnet kan få tid att tränga in innan det rinner av. Detta innebär en temporär vattenyta, men som successivt kommer att sjunka ner och magasineras i gräsytan, eller i det permeabla underlaget.

Den magasinering kapaciteten i dessa ytor är således beroende av terrängen. Eftersom Malmö har en relativt platt terräng så kan infiltrationsytor ses som magasinering anläggningar. I områden där det sluttar mer borde man överväga om magasinering är möjlig på dessa ytor då avrinningen kan ske snabbare än infiltrationen.

4.3 Gröna tak

Eftersom det är befintliga byggnader som har att göra med, som inte är dimensionerade för den extra vikt som intensiva tak skulle innebära så ses dessa inte som alternativ vid ombyggnation av Malmö tätort. I Tabell 3.1 finns information om extensiva tak. Där

kan man se att Diadem 100 har mindre tjocklek men samma vattenupptagningsförmåga som Diadem 150.

Magasineringsvolymen per kvadratmeter gröna tak är således enligt produktinformation 0,030 m³/m².

4.4 Magasineri i gräsytor

I Malmö består största delen av marken av lera. Permeabiliteten för lera är 10⁻⁹ m/s vilket innebär att infiltrationen ses som försumbar. Det infiltrationslager som kan räknas med är matjorden under gräsytan. Huruvida det är infiltration eller magasinering kan diskuteras. Enligt Svensk Vatten P105, ska matjordslagret minst vara 15 cm.

Sandinblandad matjord består till 80 % av 0,1 – 0,9 mm kornstorlek och 16 % har 0,1 mm kornstorlek. Resterande är organiskt material.

Effektiva porositeten är 14 % för kornstorlek 0,1 och 30 % för kornstorlek 0,9. Effektiva porositeten för matjorden viktas då till ungefär 23 %, vilket överensstämmer väl med 25 % som används i Svenskt Vatten.

Den maximala magasineringsvolymen per kvadratmeter blir alltså:

$$0,15 \text{ m} \times 1 \text{ m}^2 \times 0,23 = \mathbf{0,0345 \text{ m}^3/\text{m}^2}$$

Om området är kuperat så förändras infiltrationsförmågan, vilket är viktigt att ha i åtanke. I denna studie bortses från denna aspekt då topografin i Augustenborg och Malmö är relativt platt.

Magasineringsvolymen per kvadratmeter för gräsytor blir alltså 0,0345 m³/m²

4.5 Permeabla ytor

Magasineringskapaciteten hos permeabla ytor innefattar den sammansatta kapaciteten i överbyggnaden, underlaget samt den mängd som kan infiltrera till underliggande mark.

Det finns flera typer av permeabla ytor, i detta fall väljs natursten med genomsläppliga fogar. Naturstenarna väljs till 10 cm x 10 cm. Mellanrummen väljs till max dimension, vilket är 2,5 cm enligt City of Portlands standard, som är illustrerad i Figur 3.8 på sida 41. Fogarna fylls med grovt grus (kornstorlek 20 mm, effektiv porositet 25 %). Det finns ingen direkt anvisning på hur tjock naturstenen ska vara, så efter att med ögonmått jämfört de 15 cm makadam som visas i City of Portlands exempel så sätts tjockleken på naturstenen till 4 cm. Under detta lager antas ytterliggare två centimeter grovgrus ligga.

Naturstenen plus mellanrum ger 12,5 cm, mellanrummet av grus är således $2,5/12,5 = 0,2$ av ytan.

$$0,2 \times 1,0 \times 1,0 = 0,2 \text{ m}^2$$

Tjockleken på stenen har satts till 4 cm vilket då ger

$$0,04 \times 0,2 = 0,008 \text{ m}^3$$

Under detta lager ligger ytterliggare 2 cm grus.

$$1,0 \times 1,0 \times 0,02 = 0,02 \text{ m}^3$$

$$\text{Sammanlagt är det } 0,02 + 0,008 = 0,028 \text{ m}^3$$

Effektiva porositeten är 25 %.

$0,028 \times 0,25 = 0,007 \text{ m}^3/\text{m}^2$ vatten kan tas upp i de två översta lagren. Kan även ses som 7 mm regn.

Eftersom marken i Malmö består av lera, så förväntas ingen infiltration ske. I och med detta måste lagret under gruset bytas ut mot ett material med högre effektiv porositet. Man vill att allt vatten som når ytan ska få plats i underlaget, det är därför av intresse att bestämma på ett ungefär vilken tjocklek som makadamlagret måste ha. City of Portland valt ett 15 cm lager av makadam, men av ovan nämnda skäl så görs beräkningar för vilken tjocklek som krävs i Malmö.

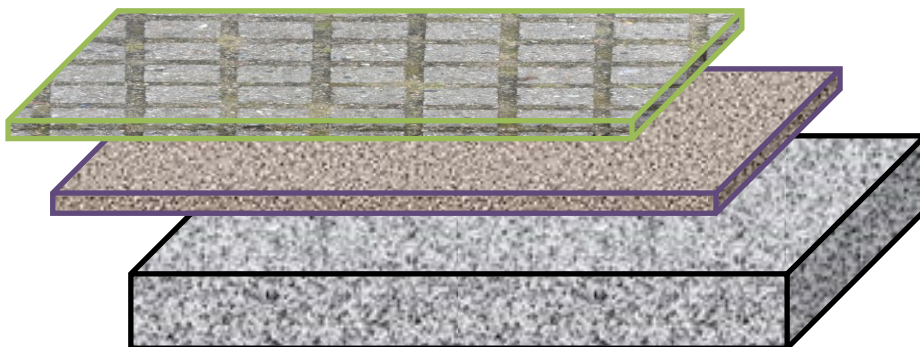
Ett sex timmars regn med två års återkomsttid innebär 26,1 mm regn. De två första lagren tar hand om 7 mm regn, det vill säga att $26,1 - 7 = 19,1$ mm måste tas upp av det underliggande makadamlagret.

Då effektiva porositeten är 27 % för makadam innebär det att 27 % vatten kan få plats per andel makadam.

$$1/0,27 = 3,7$$

$$19,1 \text{ mm} \times 3,7 = 70,7 \text{ mm}$$

Det krävs alltså ett makadam skikt av dryga 7 cm för att magasinera det regn som väntas falla på ytan.



Figur 4.1 Illustration av natursten med mellanrum av grus följt av ett lager grus, följt av ett lager makadam.

magasineringsvolymen = djup x effektiv porositet x area

$$(0,071 \times 0,27 + 0,02 \times 0,25 + 0,04 \times 0,25 \times 0,2) \times 1,0 \times 1,0 =$$

$$0,026 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

En permeabel yta bestående av natursten med mellanrum av grus beräknas alltså ta upp $0,026 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

Resultatet ovan visar på vad som kan magasineras för att få bort exakt den mängd vatten som faller på denna yta. Vill man utöka magasineringsskapaciteten ytterligare kan man utöka makadamlagret så att magasineringsskapaciteten utökas. Emellertid skulle detta innebära mer anläggningsarbete och större mängder material som måste schaktas. Ett alternativ är att utforma det underliggande lagret likt stenkistorna under svackdiken där makadamlagret är en meter. I detta fall skulle man kunna få en magasinande volym som följande:

$$(1,0 \times 0,27 + 0,02 \times 0,25 + 0,04 \times 0,25 \times 0,2) \times 1,0 \times 1,0 =$$

$$0,28 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Magasineringsvolymen per kvadratmeter för permeabla ytor blir alltså $0,28 \text{ m}^3/\text{m}^2$

4.6 Underjordiska magasin

Det som begränsar underjordiska magasin är grundvattennivån. I Malmö ligger grundvattennivån på 1 – 3 meters djup, noggrannare undersökningar måste göras beroende på område. Ytanspråket blir mindre desto djupare magasinet är, det är därför önskvärt att ha ett djupare magasin. För att vara på den säkra sidan i och med grundvattennivå väljs djupet till en meter. Kassetmagasin väljs i

detta fall, då de är enkla att anlägga och att anpassa efter den storlek man önskar.

Kassettmagasinet från ViaCon har en hålrumsvolym på 95 %.

Detta innebär att per kvadratmeter kassettmagasin blir magasineringensvolymen:

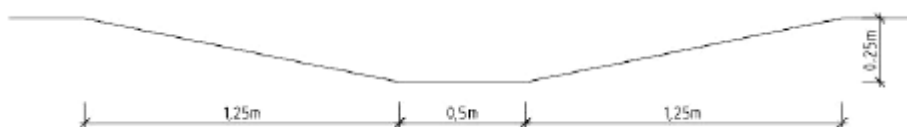
magasineringsvolymen = djup x area x hålrumsvolym

$$1,0 \times 1,0 \times 0,95 = 0,95 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Magasineringsvolymen per kvadratmeter för underjordiska magasin blir alltså 0,95 m³/m²

4.7 Svackdiken

Som tidigare nämnt önskas lösningar med så litet ytanspråk som möjligt för störst magasineringensvolym. Nedan följer tre alternativ på utformningar av svackdiken, profil 1 följer Haegglom och Hallerths utformning som är grundad på kriterier från manualer för hållbar dagvattenhantering. Profil 2 och 3 är svackdiken från Augustenborg.

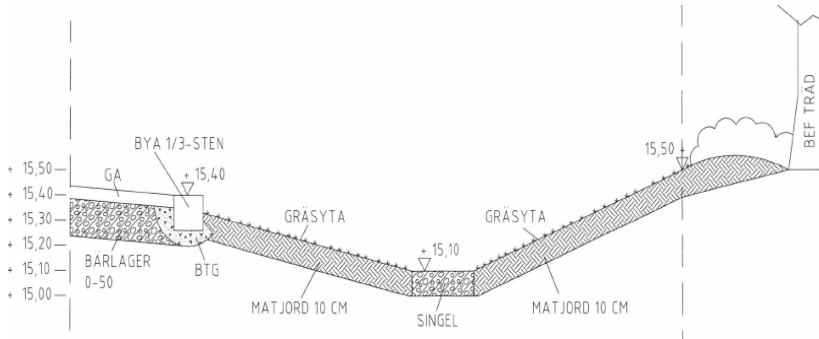


Figur 4.2 Svackdike, profil 1. (Haegglom och Hallerths, 2016)

I Figur 4.2 kan man se **profil 1**. Dess sidolutning är 1:5 för att inte överskrida maxkriteriet på 1:4 samt att bredden på hela diket är tre meter. Tre meter väljs då detta ses som den maximala bredden

för en kompakt anläggning. Genom denna utformning blev magasineringensvolymen maximerad.

Magasineringsvolymen per meter svackdike blev således **0,44 m³** per längdmeter.

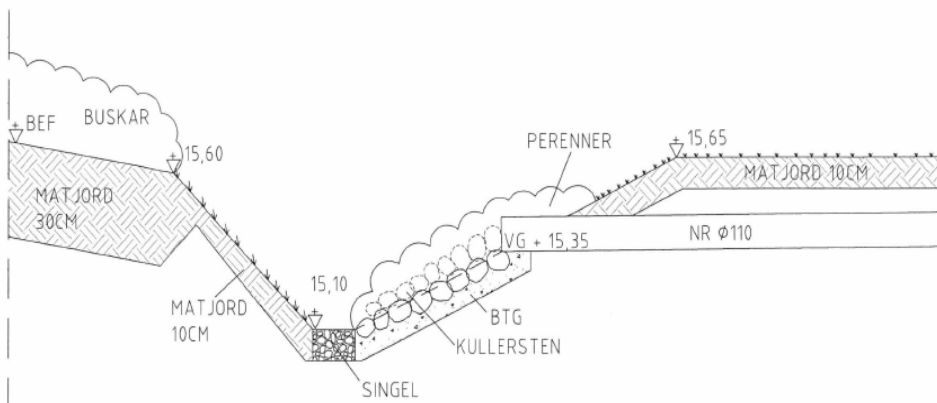


Figur 4.3 Ritning över svackdike i Augustenborg, profil 2.

I Augustenborg finns flera svackdiken, ett av dessa ses i Figur 4.3. **Profil 2** har en total bredd på 1,2 m och bottenbredd 0,2 m. Höjden på vattenskålen är 0,3 m. Volymen som kan magasineras i dessa blir

$$\text{magasineringsvolymen} = \text{höjden} \times \text{bredd}_{\text{sidotriangel}} + \text{höjden} \times \text{bredd}_{\text{mittenparti}}$$

$$0,3 \times 0,5 + 0,2 \times 0,3 = 0,21 \text{ m}^3/\text{m}$$



Figur 4.4 Ritning av svackdike i Augustenborg, profil 3.

Profil 3 har en total bredd på 1,5 m och bottenbredd 0,5 m. Höjden på vattenskålen är 0,5 m. Volymen som kan magasineras i ett svackdike likt profil 2 blir:

$$0,5 \times 0,5 + 0,5 \times 0,5 = 0,5 \text{ m}^3/\text{m}$$

Lutningen på sidoslutningen för profil 2 och 3 överskrider kriterierna om max lutning på 1:4. Dock har båda ett ytanspråk som är mindre än 3 m i bredd vilket har stor relevans då tillgängliga ytor i staden är begränsade.

Skulle man istället sätta kriteriet att två meter är maximalbredd och lutningen får maximalt vara 1:4 kan man få en profil med utformning där totala bredden är 2 m, bottenbredden 0,4 m, vilket ger sidorna en bredd på 0,8 m. Detta skulle leda till en magasineringsvolym på:

$$0,8 \times 0,2 + 0,4 \times 0,2 = 0,24 \text{ m}^3/\text{m}$$

Jämförs nu den första och sista profilen ser man att magasineringsvolymen är nästintill det dubbla för den första trots att bredden bara ökar med en tredjedel. Magasineringsmässigt är

det därför mindre yta som krävs för större volym om man har möjlighet att anlägga ett svackdike med bredd på tre meter.

Under svackdiket placeras ofta en stenkista dit vattnet kan infiltrera och magasineras. Enligt Svenskt Vatten ska stenkistan ha en bredd på 0,8 m och ett djup på ungefär 1 m. Kornstorleken på makadamlagret ska vara mellan 4 -16 mm vilket ger en effektiv porositet på ca 27 %. Bredden i övre delen av kistan antas vara 1 m. Den volym som stenkistan väntas magasinera blir således:

Magasineringsvolymen = Tvärsnittsarean x effektiva porositeten

$$\mathbf{A = 0,8 \times 1 + 0,1 \times 1 = 0,9 \text{ m}^2}$$

$$\mathbf{V = 0,9 \times 0,27 = 0,243 \text{ m}^3/\text{m}}$$

Över makadamlagret placeras ett 15 cm lager av grovt grus, kornstorlek på 20 mm, detta ger en effektiv porositet på ungefär 25 %. Eftersom makadamlagret har en bredd på en meter i övre delen så antas även detta lager ha det. Magasineringsvolymen blir således:

Magasineringsvolym = bredd x höjd x effektiv porositet

$$\mathbf{V = 1,0 \times 0,15 \times 0,25 = 0,0375 \text{ m}^3/\text{m}}$$

Över detta lager placeras ett 15 cm sandinblandat matjordslager. Som tidigare använts i beräkningar av infiltration i gräsytor väntas matjordslagret ha en effektivporositet på 23 %.

För ett svackdike med 3 meter i bredd blir magasineringsvolymen:

$$\mathbf{V = 0,15 \times 3 \times 0,23 = 0,1035 \text{ m}^3/\text{m}}$$

Per meter svackdike kan alltså:

$0,440 + 0,243 + 0,0375 + 0,1035 = 0,824 \text{ m}^3/\text{m}$ magasineras.

Eftersom svackdiket är tre meter i bredd ger det ett ytanspråk per kvadrat-meter på

$$\mathbf{0,824/3 = 0,275 \text{ m}^3/\text{m}^2}$$

Magasineringsvolymen per kvadratmeter för svackdiken blir alltså $0,275 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

4.8 Breda avvattningsstråk

Att föredra är kompakta lösningar, om det dock finns möjlighet i en park eller på ett öppnare område kan man anlägga breda avvattningsstråk. De kan liknas med svackdiken men mycket bredare. Dessa ska ha en vattenskål med bredd på minst 10 meter. Samma kriterier för sidolutning på max 1:4 i detta fall. Detta ger en bottenhöjd i mitten på stråket på mer än en meter vid maximal vattenhöjd, vilket i vissa fall anses som en fara för bland annat barn. I detta fall så är sluttningen så pass flack så det ses inte som ett problem.

En total bredd på 10 meter med en bottenbredd på en meter och sidolutning på 1:4 ger en höjd på vattenskålen på 1,125 meter. Magasineringsvolymen för det breda stråket blir således:

$$\mathbf{4,5 \times 1,125 + 1,0 \times 1,125 = 6,188 \text{ m}^3/\text{m}}$$

Under detta avvattningsstråk placeras en liknande kista som för svackdiket, dock är matjordslagret 10 meter i bredd. Magasineringsvolymen i matjordslagret blir således:

$$\mathbf{V = 0,15 \times 10 \times 0,23 = 0,345 \text{ m}^3/\text{m}}$$

Underliggande lagars magasineringvolym:

$$V = 6,188 + 0,243 + 0,0375 + 0,345 = 6,814 \text{ m}^3/\text{m}$$

Då avvattningsstråket är 10 meter brett blir ytanspråk per kvadratmeter:

$$6,814/10 = 0,681 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Magasineringsvolymen per kvadratmeter för breda avvattningsstråk blir alltså 0,681 m³/m².

4.9 Regnbäddar

Utformningen på regnbäddar varierar mycket, det finns ingen specifik uppbyggnad. I denna studie väljs en utformning som presenteras i manualen för hållbar dagvattenhantering för Queensland, Australien. (Moreton Bay Waterways and Catchments Partnership, 2006)

Regnbädden är uppbyggd av ett 0,2 m tjockt dräneringslager av sand med partikelstorlek 0,2 mm, över detta läggs ett 0,6 m lager växtjord med partikelstorlek 0,5 mm. Över detta har man en fördröjningszon på 0,2 m som kan fyllas upp med dagvatten.

Volymen som varje lager kan magasinera beräknas nedan.

Dräneringslager:

partikelstorlek 0,2 mm → effektiv porositet 32 % (Svensson, 1996).

$$v = djup \times area \times effektiv \text{ porositet}$$

$$0,2 \times 1,0 \times 0,32 = 0,064 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Växtjordslager:

partikelstorlek 0,5 mm → effektiv porositet 29 %

$v = djup \times area \times effektiv\ porositet$

$$0,6 \times 1,0 \times 0,29 = \mathbf{0,174\ m^3/m^2}$$

Fördröjningszon:

$v = area \times djup$

$$0,2 \times 1,0 = \mathbf{0,2\ m^3/m^2}$$

Totalt:

$$0,064 + 0,174 + 0,2 = \mathbf{0,438\ m^3/m^2}$$

Magasineringsvolymen per kvadratmeter för regnbäddar blir alltså 0,438 m³/m².

4.10 Dammar

Dammar kan utformas på många olika sett. För våta dammar är det skillnaden mellan normala vattenytan och maximala vattenytan som är magasinerande. I Augustenborg finns ett flertal dammar av olika karaktär. Därför ska den magasinerande effekten av två olika dammar studeras. Det finns de som har ett överloppsrör som ligger fem centimeter över den normala vattenytan och andra som har utlopp med bottenplugg.

Damm 1

Damm med bottenplugg, profilen kan ses i bilaga på sidan 3.

Den normala vattenytan ligger på + 10,60 möh och den maximala vattenytan ligger på + 11,20 möh.

Magasineringsvolymen blir således

$$v = area \times \Delta_{höjd}$$

$$\mathbf{1,0 \times (11,20 - 10,60) = 0,60\ m^3/m^2}$$

Damm 2

Damm med överloppsrör, profilen kan ses i bilaga på sida 2.

Gemensamt för dammarna med överloppsrör i Augustenborg är att det alla har en höjdskillnad mellan normala vattenytan och överloppsröret på fem centimeter. Den magasinierande volymen blir därför liknande för dessa dammar och beräknas likt ovan där $\Delta_{höjd}$ är 0,05 m.

$$v = \text{area} \times 0,05$$

$$1,0 \times 0,05 = 0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Som vi kan se så är magasinieringskapaciteten för damm 1 betydligt bättre än för damm 2. Magasinieringsvolymen är så pass liten för damm 2 så att det utesluts att syftet med denna damm är till magasinering, den är snarare för att skapa en vacker miljö. Därför är det magasinieringsvolymen för damm 1 som är av intresse för denna studie.

Det som begränsar en damm som damm 2 är höjden på anslutningsledningen och grundvattennivån. I detta fall ligger utloppet på 10,03 möh medan marknivån för cykelbanan är 11,38 möh, vilket ger en höjdskillnad på 1,35 m. Eftersom grundvattennivån väntas ligga mellan 1,0 – 3,0 meter under markytan och följa topografin så är denna damm på gränsen till vad som kan accepteras, det är dock oklart om cykelbanan är upphöjd eller inte. Dagvattenledningen som ligger vid denna damm ligger på 8,8 – 9 möh (ritningar från VA Syd, se bilaga) så anslutningen till dagvattenledningen kommer inte att vara ett problem.

Magasineringsvolymen per kvadratmeter för damm blir alltså 0,60 m³/m²

4.11 Öppna dagvattenkanaler

En kanal kan utformas på olika sätt, de kan vara helt öppna eller täckta. Bredden får variera mellan 0,5 – 1,0 m för båda men djupet får maximalt vara 0,5 m för en öppen kanal och mellan 0,5 – 1,0 m för en täckt. Längs med kanalen måste man reservera minst 1 meter på ena sidan och 1,5 meter på andra sidan. (Ministry of Natural Resources and Environment, 2016).

Volymen per kvadratmeter för en kanal kan beräknas med

$$v = \text{höjd} \times \text{bredd} \times \text{längd}$$

För en öppen kanal med bredd 0,5 meter blir magasineringsvolymen således

$$\mathbf{0,5 \times 0,5 \times 1,0 = 0,25 \text{ m}^3/\text{m}^2}$$

Eftersom minst 2,5 meter kommer att tas upp på sidan av kanalen blir totala magasineringsvolymen per kvadratmeter volymen dividerat med totala bredden

$$\mathbf{\rightarrow 0,25 / (2,5 + 0,5) = 0,083 \text{ m}^3/\text{m}^2}$$

För en öppen kanal med bredd 1,0 meter blir magasineringsvolymen

$$1,0 \times 0,5 \times 1,0 = 0,5 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$\mathbf{\rightarrow 0,5 / (2,5 + 1,0) = 0,143 \text{ m}^3/\text{m}^2}$$

För en täckt kanal med bredd 0,5 meter blir magasineringsvolymen

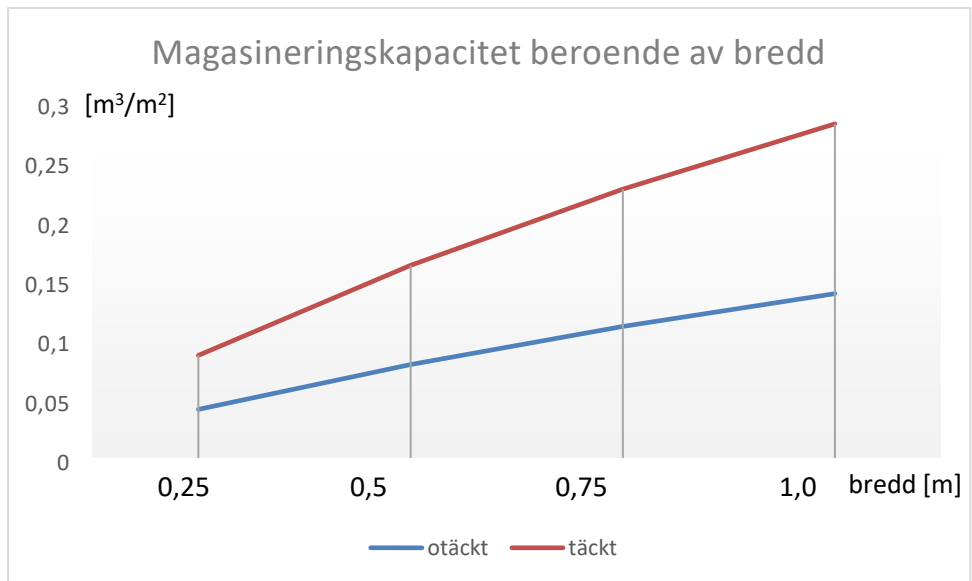
$$1,0 \times 0,5 \times 1,0 = 0,5 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$\rightarrow 0,5 / (2,5 + 0,5) = 0,167 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

För en täckt kanal med bredd 1,0 meter blir magasineringsvolymen

$$1,0 \times 1,0 = 1,0 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$\rightarrow 1,0 / (2,5 + 1,0) = 0,285 \text{ m}^3/\text{m}^2$$



Figur 4.5 Magasineringskapacitet beroende av bredd i beklädda kanaler.

Tabell 4.1 Sammanställning av olika kanaler.

| djup | bredd | reserv | total bredd | m3/m2 |
|-------------|--------------|---------------|--------------------|--------------|
| 0,5 | 0,25 | 2,5 | 2,75 | 0,045 |
| 0,5 | 0,5 | 2,5 | 3 | 0,083 |
| 0,5 | 0,75 | 2,5 | 3,25 | 0,115 |
| 0,5 | 1 | 2,5 | 3,5 | 0,143 |
| 1 | 0,25 | 2,5 | 2,75 | 0,091 |
| 1 | 0,5 | 2,5 | 3 | 0,167 |
| 1 | 0,75 | 2,5 | 3,25 | 0,231 |
| 1 | 1 | 2,5 | 3,5 | 0,286 |

I denna studie ska hållbara dagvattenanläggningar implementeras i den befintliga stadsmiljön, det kan därför vara svårt att placera kanaler med en bredd på 1,0 meter i befintliga gator. I Figur 4.5 kan man se att med ökad total bredd så minskar magasineringseffektiviteten. Desto bredare kanal, desto mindre blir magasineringsvolymen per kvadratmeter. I och med detta är det värt att ha i åtanke att om syftet är att vara yt-effektiv så kan en mindre bredd vara av intresse.

I detta fall då kanalerna är max en meter blir volymkapaciteten avgörande.

Otäckta kanaler med bredd på en meter ger då magasineringsskapacitet 0,143 m³/m².

Täckta kanaler med en bredd på en meter ges magasineringsskapacitet 0,286 m³/m².

4.12 Permeabla ytor tillsammans med underjordiska magasin

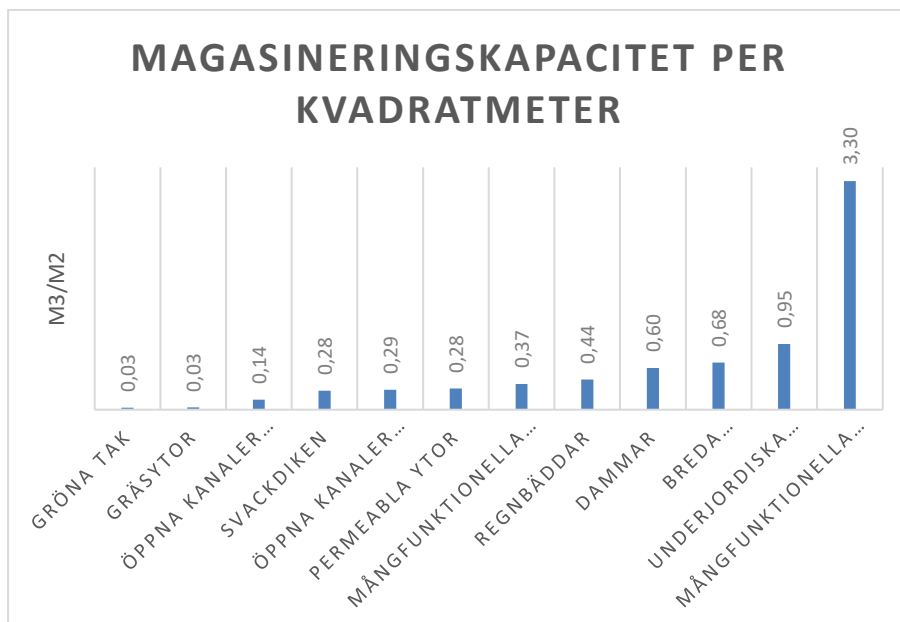
I Malmö består det underliggande marklagret av lera vars infiltrationskapacitet är nästintill obefintlig. För att handskas med detta kan man gräva ur en del av leran och byta ut mot ett annat material. Om man skulle välja att placera kassettmagasin av samma dimension som används ovan så skulle den sammansatta magasineringskapaciteten per kvadratmeter bli:

$$0,95 + 0,30 = 1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

4.13 Mångfunktionella ytor

Då mångfunktionella ytor kan utformas på väldigt många olika sett så är det svårt att beräkna en specifik magasineringskapacitet. Därför används samma värden som Ramböll beräknat för "Cloudburst Boulevard", vilket är $3,3 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

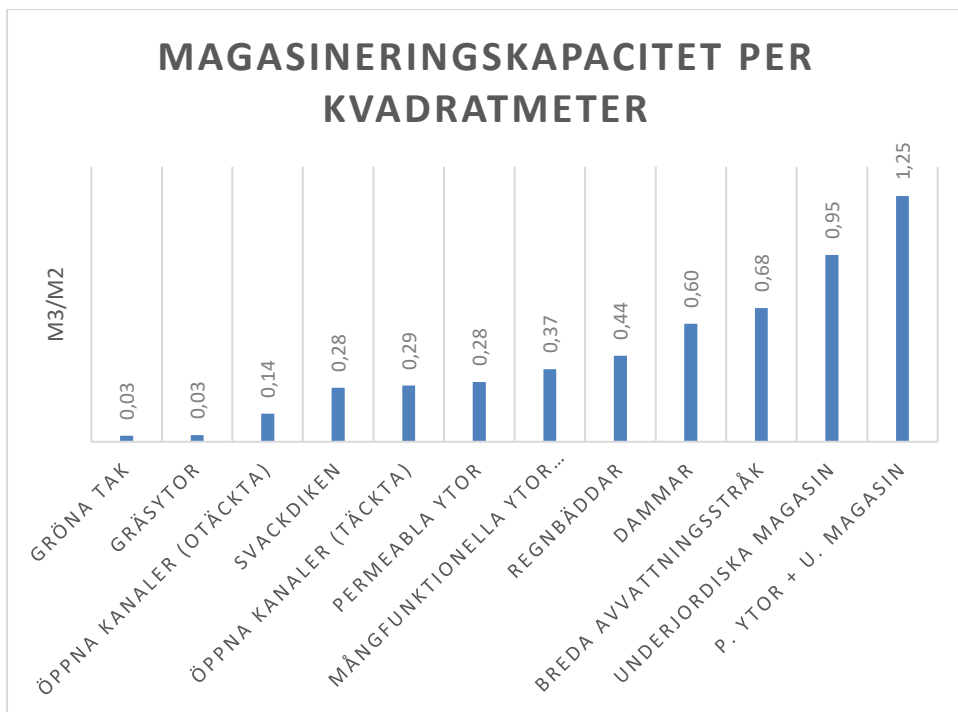
4.14 Sammanställning



Figur 4.6 Sammanställning av dagvattenanläggningar inklusive mångfunktionella ytor.

Som man kan se i diagrammet i Figur 4.6 så finns det två staplar för mångfunktionella ytor. Typ 1 representas här av amfiteatern på skolan i Augustenborg och typ 2 är ytor liknande ”Cloudburst Boulevard” i Köpenhamn. Som diagrammet visar så är typ 2 det mest yteffektiva magasineringsalternativet, 3,30 m³/m².

För att få en bättre bild av de resterande lösningarna kan man se till Figur 4.7 där ”Cloudburst Boulevard” har tagits bort. I denna kan man se att underjordiska magasin är mest magasinerings effektiva per kvadratmeter. Eftersom infiltrationskapaciteten i Malmö är så pass liten så kan underjordiska magasin vara ett bra alternativ under permeabla ytor, som parkeringsplatser till exempel.



Figur 4.7 Sammanställning av dagvattenanläggningar exklusive mångfunktionella ytor.

Breda avvattningsstråk och dammar har liknande magasineringskapacitet per kvadratmeter. Breda avvattningsstråk är ytkrävande och kan vara svåra att hitta plats för i en befintlig stadsmiljö. I de områden där plats finns borde man dock i största möjliga mån försöka implementera dessa då de har bra magasinerings effektivitet vid regn samt att de kan användas som rekreativa områden när de är torra. Dammar är enklare att utforma efter tillgänglig yta och kan därför vara lättare att placera ut. Nackdelen med våta dammar är att de, precis som det låter alltid är våta. Detta innebär att det inte går att använda ytan till annat då det är torrt väder. Dammarna förgyller dock stadsbilden och ökar biodiversiteten i staden vilket är ett stort plus.

Regnbäddar har en relativt god magasineringskapacitet samtidigt som de är bra på att rena dagvattnet från föroreningar. Dessa kan även utformas på många olika vis beroende på tillgänglig yta. De kan placeras längs vägar, i rondeller, på torg och längs byggnader. Förutom att verka renande och magasinera skapar de även en grönare stad och ökad biodiversitet.

Permeabla ytor har en relativt god magasineringskapacitet samtidigt som ytorna kan användas till annat. Parkeringsplatser som idag är stora bovar när det kommer till yt-avrinning skulle kunna magasinera en del av regnvattnet om de istället bestod av permeabla ytor, likt den utformning som presenterats i denna rapport.

Täckta beklädda kanaler och svackdiken har liknande magasineringskapacitet per kvadratmeter. Det som skiljer de båda åt är att svackdiken har en renande effekt, vilket de beklädda kanalerna inte har. Priset för beklädda kanaler väntas också vara dyrare. En annan fördel med svackdiken är att de skapar en grönare stadsmiljö. Beklädda täckta kanaler kan dock vara ett alternativ då ytorna är begränsade. Om möjligt så är svackdiken ett trevligare alternativ, både för ögat och för dagvattenkvalitén.

Otäckta beklädda kanaler har hälften av magasineringskapaciteten av vad de täckta har. Eftersom de väntas vara kostsamma bör detta alternativ endast användas då andra alternativ inte är möjliga, till exempel då ytorna är väldigt begränsade. De öppna kanalerna skapar ett trevligt tillskott till stadsbilden, men förutom det har de inte så många andra positiva aspekter.

Gräsytor och gröna tak har minst magasineringskapacitet per kvadratmeter i jämförelse med de andra anläggningarna. Där det finns större gräsytor borde man därför så ofta som möjligt

implementera breda avvattningsstråk, svackdiken eller dammar, som har betydligt bättre magasineringsskapacitet. Ett alternativ är även att placera underjordiska magasin under gräsytor. På så vis kan en stor del dagvattnet magasineras. Trots att magasineringsskapaciteten per kvadratmeter är liten så är den betydligt bättre än impermeabla ytor som till exempel asfalt. Stora andelar gräsytor kan därför göra skillnad.

Gröna tak har inte speciellt bra magasineringsskapacitet per kvadratmeter, men andelen tak som finns i staden är stor, vilket innebär magasineringen kan bli betydande i det stora hela.

4.15 Implementering av öppna dagvattenlösningar i Malmö

I Tabell 2.3 på sida 22 presenteras andelen av olika dagvattenanläggningar i Augustenborg. Antaganden har gjorts att planteringsytor fungerar som regnbäddar, gräsarmering är permeabla ytor, dike antas vara svackdiken, kanaler är otäckta beklädda kanaler medan anrinränna är täckta beklädda kanaler. Dessa ytor multipliceras med de magasineringssvärden per kvadratmeter som fått fram. Resultaten redovisas i Tabell 4.2.

Tabell 4.2 Beräkning av total magasineringskapacitet i Augustenborg.

| Typ | Yta/längd | Enhet | m ³ /m ² | yta x ytanspråk (m ³) |
|----------------|-----------|----------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Planteringsyta | 22012 | m ² | 0,438 | 9641,3 |
| Gräsyta | 30275 | m ² | 0,0345 | 1044,5 |
| Gräsarmering | 1114 | m ² | 0,3045 | 339,2 |
| Dike | 440 | m ² | 0,275 | 121,0 |
| Kanal | 280 | m | 0,143 | 40,0 |
| Anrinränna | 2169 | m | 0,286 | 620,3 |
| Damm | 1484 | m ² | 0,6 | 890,4 |
| Gröna tak | 12000 | m ² | 0,03 | 360,0 |
| Totalt | | | | 13000 |

Som tabellen visar så har gröna tak en betydande magasineringskapacitet i Augustenborg om man jämför med hur mycket vatten som kanalerna magasinerar till exempel. Just eftersom andelen tak är stor.

Då Augustenborg har en area på $33 \times 10^4 \text{ m}^2$ och att det under sex timmar väntas regna $26,1 \text{ mm} = 0,0261 \text{ m}$ så kan man översiktligt beräkna att volymen nederbörd på området är:

$$33 \times 10^4 \times 0,0261 = 8610 \text{ m}^3$$

Detta visar på att dagvattenlösningarna i Augustenborg är drygt en tredjedel överdimensionerade för just det regn som faller över området, vilket innebär att det finns kapacitet i Augustenborg att magasinera nederbörd från närliggande områden. Man skulle

alltså kunna leda en del regnvatten från områden kring Augustenborg till Augustenborg med passande metoder.

Den magasineringsvolym som krävs för att hantera vattnet från 641 hektar hårdgjorda ytor med total avrinning under sex timmar med $12,1 \text{ l/s} \cdot \text{hektar}$ intensitet är cirka $9,3 \times 10^4 \text{ m}^3$. Den volym som magasineras i Augustenborgs dagvattenanläggningar har beräknats till dryga $1,3 \times 10^4 \text{ m}^3$. Genom att dividera tunnelns dimensionerande magasineringskapacitet med de volymer som magasineras i Augustenborg fås antalet områden liknande Augustenborg som krävs för att uppnå tunnelns magasineringsvolym.

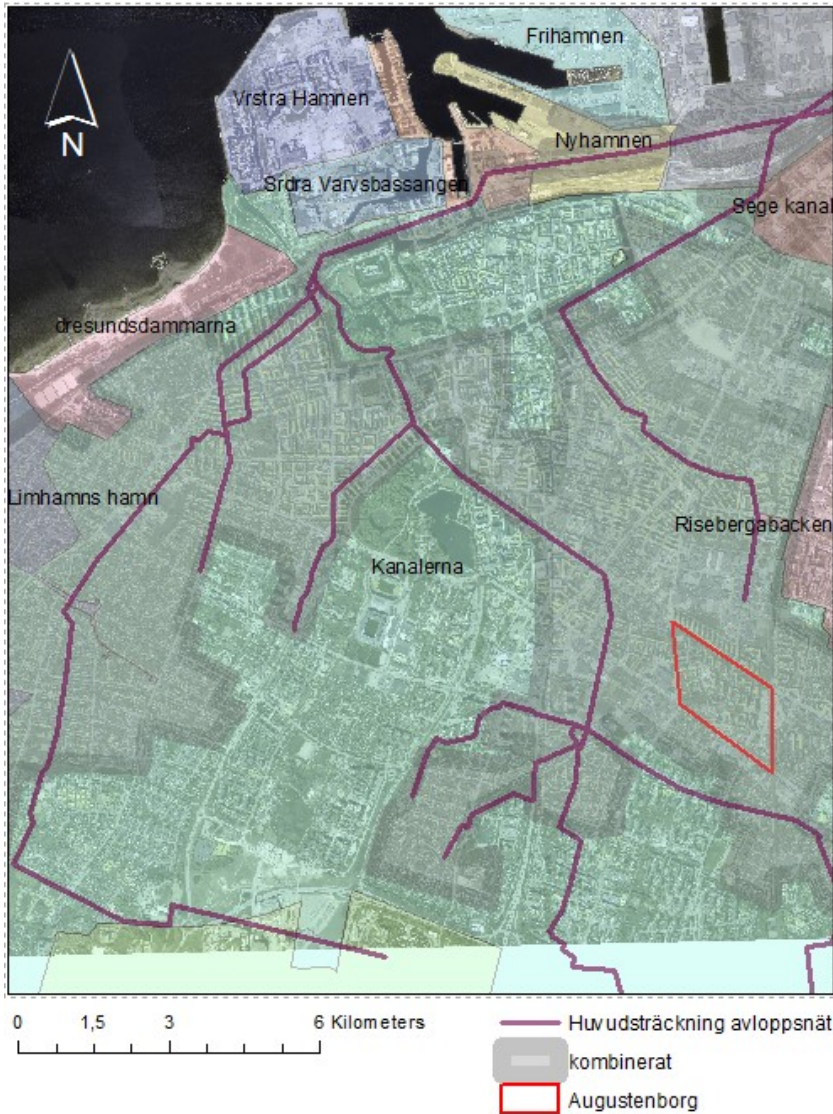
$$9,3 \times 10^4 \text{ m}^3 / 1,3 \times 10^4 \text{ m}^3 = 7,2$$

Detta visar att dryga sju stycken områden som har dagvattenanläggningar med samma magasineringskapacitet som Augustenborg skulle krävas för att magasinera lika stora volymer som de områden som tunneln väntas hantera. I och med att Augustenborg är överdimensionerat, så kan man vänta sig att dessa sju områden också kommer att vara överdimensionerade för just den nederbörd som faller över området. Detta i sin tur innebär att likt för Augustenborg så skulle nederbörd från omkringliggande områden att kunna ledas till dessa sju utvalda områden för att omhändertas i de olika dagvattenanläggningarna.

I Figur 4.8 illustreras avloppsledningens huvudsträckning över en karta av Malmö tätort. Området är indelat i avrinningsområden, varav det gröna området är de områden där ledningarna är kopplade till innerstadskanalen. Över dessa gröna områden har även indelningen av det kombinerade nätet placerats, vilket är de gråa områdena med bred kantlinje. Det område som innesluts av en röd kantlinje är Augustenborg som ligger inom kanalernas

avrinningsområde och är kopplat till det kombinerade avloppsnätet.

Med hjälp av denna karta har områden med en sammansatt area liknande åtta stycken Augustenborg tagits ut som anses vara möjliga alternativ för ombyggnation. Områdena har valts utifrån att de ligger inom det kombinerade nätet och kanalernas avrinningsområde. Förutom dessa förutsättningar har byggnadstyp varit av intresse. Eftersom ansvaret för dagvattenhantering ligger på gatukontoret och VA-huvudmannen så är det enklare att implementera och bygga om inom kommunalt ägda fastigheter än på privatägda tomter. Det har därför antagits att småhus till större utsträckning ligger på privat mark och därför har dessa områden undvikits. Områden med större grönområden har prioriterats då dessa ger möjlighet till att implementera breda avvattningsstråk och multifunktionella ytor som har bra magasineringskapacitet men kan vara svåra att finna plats för.



Figur 4.8 Karta över Malmö med avrinningsområde till centrala kanalerna i grönt och kombinerade ledningsnätet i grått.

Resultatet visas i Figur 4.9. Genom ArcGIS beräknas arean av Augustenborg uppgå till 33216 m². Multiplieras detta med åtta så får man en area på ungefär 266000 m². Områdena har en beräknad total area på 3170000 m². Eftersom det varierar mellan antalet byggnader och tillgänglig yta till implementering av de

olika anläggningarna beroende på område så har en större total yta valts för att vara på den säkra sidan. I bilaga 2 finns inzoomade bilder av varje område.

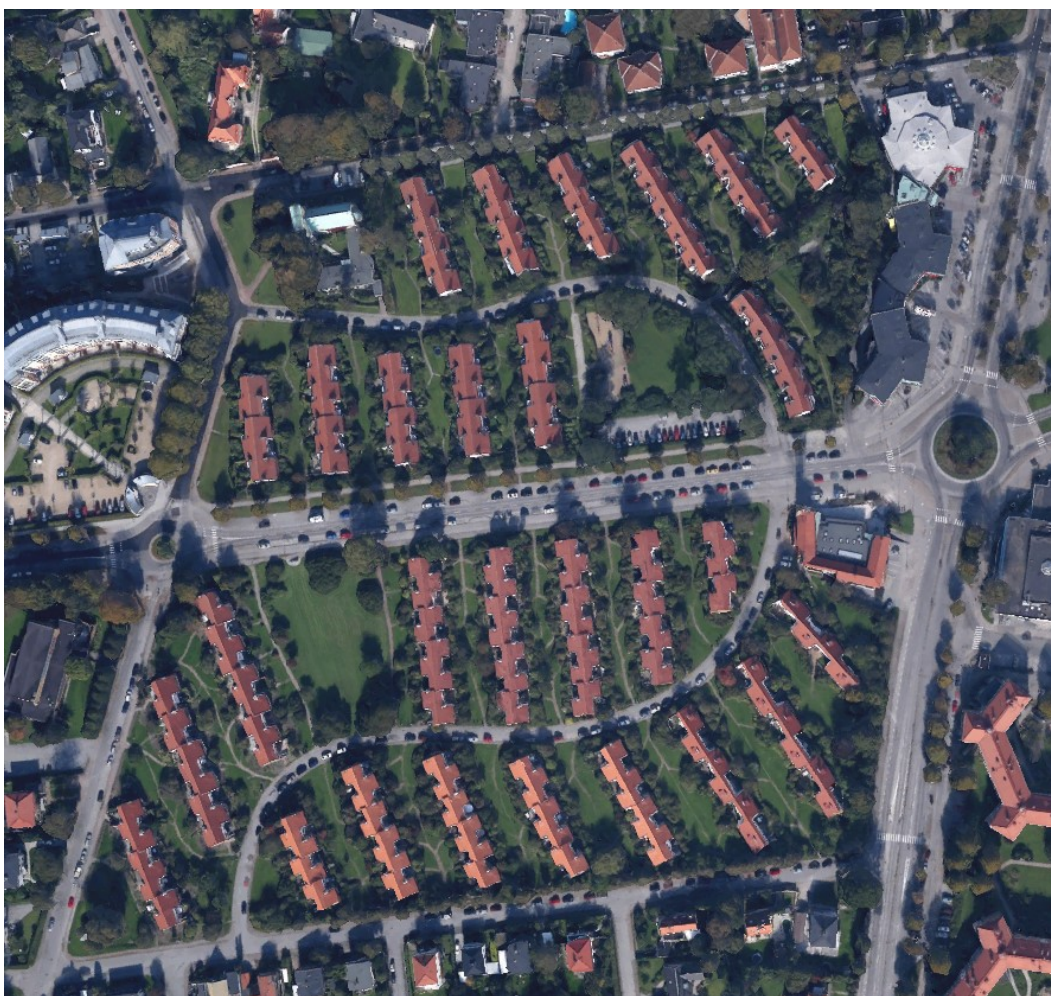


Figur 4.9 Indelning av möjliga områden för ombyggnation, Malmö

4.16 En djupare analys av område noll, fem och åtta

Område 0

I figur 4.10 är en bild från Google Earth där man kan se område noll. Det går att urskilja att det finns flera möjliga infiltrationsytor mellan byggnaderna. Det skulle även vara möjligt att implementera dammar, likt de i Augustenborg. Förutom detta finns det minst två ytor som skulle vara möjliga att bygga om till breda avvattningsstråk eller multifunktionella ytor.



Figur 4.10 Område 0, Malmö. (Google Earth, 2016)

Område 5

Område fem ligger i centrala delen av Malmö där byggnaderna ligger tätt. Förutom detta är breda asfalterade vägar och parkeringar något som är gemensamt för hela området. Det största grönområdet är Folketspark, som ligger i övre centrala delen av figur 4.11, till vänster.



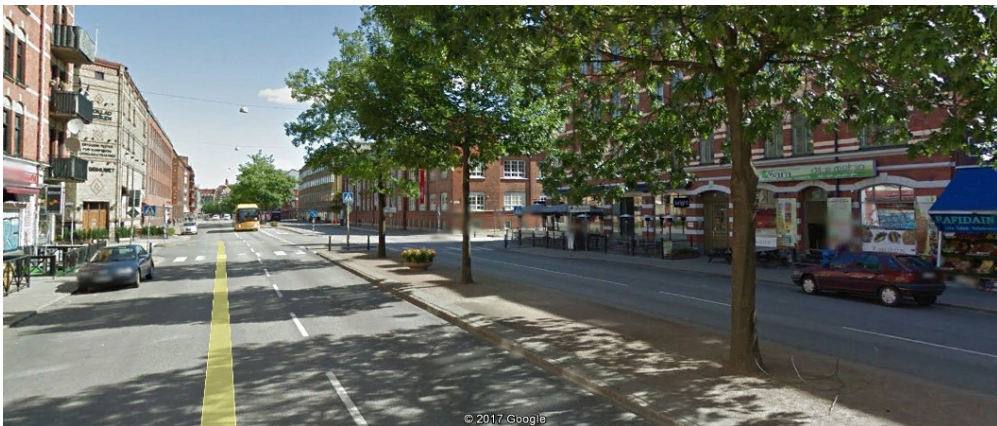
Figur 4.11 Område 5. (Google Earth, 2017)

I nedre delen av figur 4.11, till höger går Lantmannagatan. Som man kan se i figur 4.12, är det en dubbelfilig väg med en impermeabel refug. Denna refug skulle kunna bytas ut mot regnbäddar.



**Figur 4.12 Lantmannagatan, Malmö. En del av område 5.
(Google Earth, 2017)**

Likväl Bergsgatan, belägen till vänster i figur 4.11 och visas i figur 4.13, är en större tvåfilig väg inom område fem med en refug i mitten. Denna består dock av grus, vilket låter en del vatten infiltrera, men en regnbädd skulle både fördröja en större del dagvatten samtidigt som vattnet renas.



**Figur 4.13 Bergsgatan, Malmö. En del av område 5. (Google
Earth, 2017)**

Område 8

Figur 4.14. är en bild på område åtta. Det finns inte lika mycket gröna ytor som i område noll, det är desto fler asfalterade ytor. I övre högre delen av området finns ett större grönområde. Dit skulle vatten kunna transporteras för momentan magasinering vid större regn. Mellan byggnaderna finns möjlighet att sänka ner grönytor och placera dammar som kan fördröja regnvatten från taken bland annat.

Längs den större vägen till vänster i bilden kan ett svackdike placeras som kommer att verka renande av dagvattnet från vägen samt att det kommer att fungera som fördröjning av dagvattnet från vägen.



Figur 4.14 Område 8, Malmö. (Google Earth, 2017)

I figur 4.15 ser man en inzoomning av nedre delen av område åtta, till höger där det finns en relativt stor andel asfalterade parkeringsplatser. Dessa kan byggas om till permeabla ytor med ett makadammagasin under eller ett kassetmagasin för fördröjning av dagvattnet. Parken mellan byggnaderna är en bra plats att fördröja vatten på i till exempel ett brett avvattningsstråk eller nedsänkt gräsyta som vid torrt väder kan användas till rekreation.



Figur 4.15 Inzoomning av område åtta, Malmö. (Google Earth, 2017)

5 Diskussion

Ur ett rent kvantitativt magasineringsperspektiv så är det möjligt att uppnå samma magasineringskapacitet genom öppen dagvattenhantering runt om i staden som den underjordiska tunneln väntas hantera. Men som med det mesta finns det flera aspekter som måste tas i beaktande.

En utav dessa aspekter är ansvarsaspekten. Som det ser ut idag är ansvaret för dagvattenhantering uppdelat mellan flera olika parter. VA-huvudmannen, i Malmös fall VA Syd, har ansvar för rörsystemet utanför fastigheternas förbindelsepunkt medan fastighetsägaren ansvarar innanför förbindelsepunkten. Gatukontoret har ansvar för gatans avvattning och underhållet av dagvattenbrunnarna. Med traditionell sluten dagvattenhantering där regnvattnet samlas upp i ledningar och magasineras i underjordiska magasin så har det största ansvaret legat på VA-huvudmannen. De har behövt se till så att systemet är dimensionerat för de avrinningsområden som är kopplade därtill. När dagvattenhanteringen förflyttas till ovan mark blir det något oklart vem som ska ta på sig ansvaret.

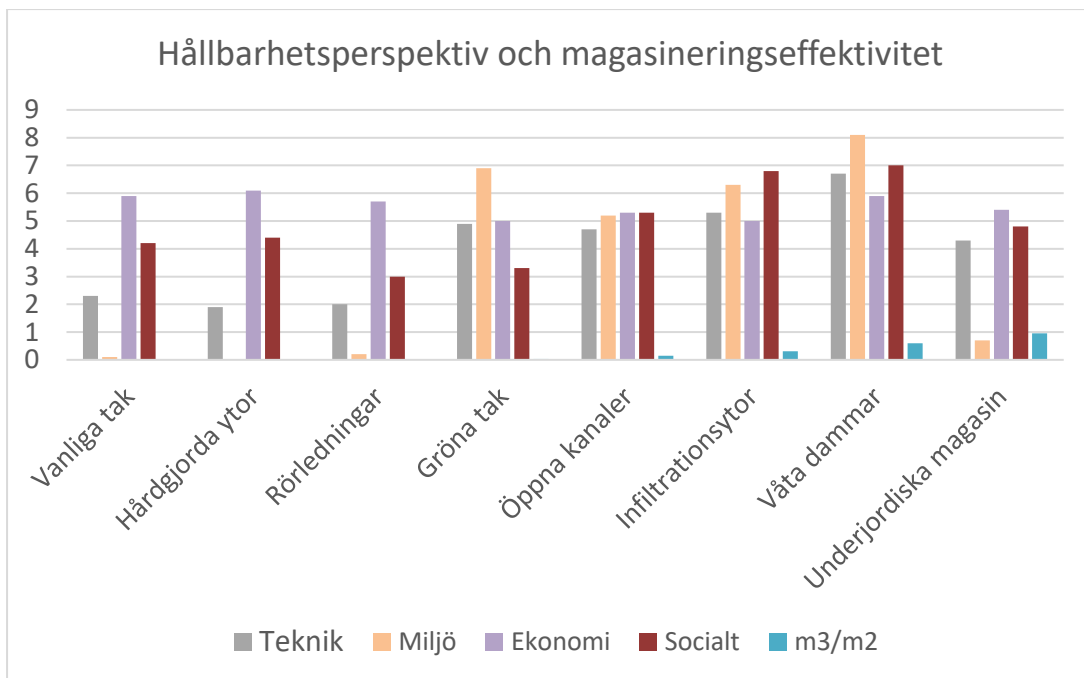
I dagsläget är det gatukontoret som står för underhåll av öppna dagvattenanläggningar vilket innebär att med utökad öppen dagvattenhantering så kommer behovet av underhåll även att öka, vilket i sin tur leder till större ansvar och kostnader för gatukontoret. Eftersom infiltrationen i Malmö är knapp, samt att områdena som fokuseras på i denna studie är kopplade till det kombinerade ledningsnätet så kommer största delen av dagvattnet att hamna i VA-Syds ledningar i alla fall. Detta innebär att det förmodligen inte kommer att ske en betydande minskning av den totala mängden avloppsvatten till reningsverket. Skillnader

man skulle kunna se är att dagvattnet kommer att ha en mindre föroreningshalt då majoriteten av de öppna dagvattenanläggningarna har en renande effekt. Förutom detta kommer flödestopparna att minska vilket minskar bräddningar till kanalerna. Att implementera öppen dagvattenhantering kanske inte ska ses som en direkt ekonomisk vinst, snarare en miljömässig.

Då det kommer till lokalt omhändertagande av dagvatten så sker det på privat mark, vilket innebär större ansvar för fastighetsägare. För fastigheter som inte har problem med översvämningar kan det vara svårt att motivera varför de borde implementera gröna tak, fördröjningsdammar och svackdiken. Att vattenkvaliteten i innerstadskanalerna kommer att öka är förmodligen inte en anledning god nog för att acceptera ökat behov av underhåll och ombyggnation på fastigheten. För att tackla detta måste kommunen erbjuda något slags finansieringsstöd. Om detta ska vara i skattelättnader eller att kommunen står för underhållet måste undersökas.

Avloppstunneln kan verka som ett "monsterprojekt", men ser man till de olika aktörer och åtgärder som krävs för att implementera öppen dagvattenhantering runt om i staden så kan tunneln ändå ses som det enklaste alternativet. Om det är en hållbar lösning är dock oklart. Byråkratin som väntas kan innebära kostnader som inte går att förutse.

I artikeln ur tidskriften VATTEN har ett hållbarhetsindex tagits fram med utgångspunkt i dagvattenlösningarna i Augustenborg. Dessa har betygsatts utifrån teknik, miljö, ekonomi och sociala aspekter. I Figur 5.1 jämförs de olika hållbarhetsperspektiven med yteffektiviteten.



Figur 5.1 Hållbarhetsperspektiv och magasineringseffektivitet. Lägst magasineringseffektivitet till högst.

Ekonomiskt ser man till hur låga kostnaderna är för anläggning samt drift och underhåll. Hårdgjorda ytor visar på att vara minst kostsamma, i övrigt är värdena relativt lika. Traditionella lösningarna har något bättre resultat.

Våta dammar och gröna tak har högst miljömässigt värde, det vill säga föroreningsreducering, lokalklimat och bidragande till biologiska mångfalden. Underjordiska magasin som är de mest yteffektiva alternativet har lågt miljömässigt värde. De traditionella lösningarna har inget miljömässigt värde.

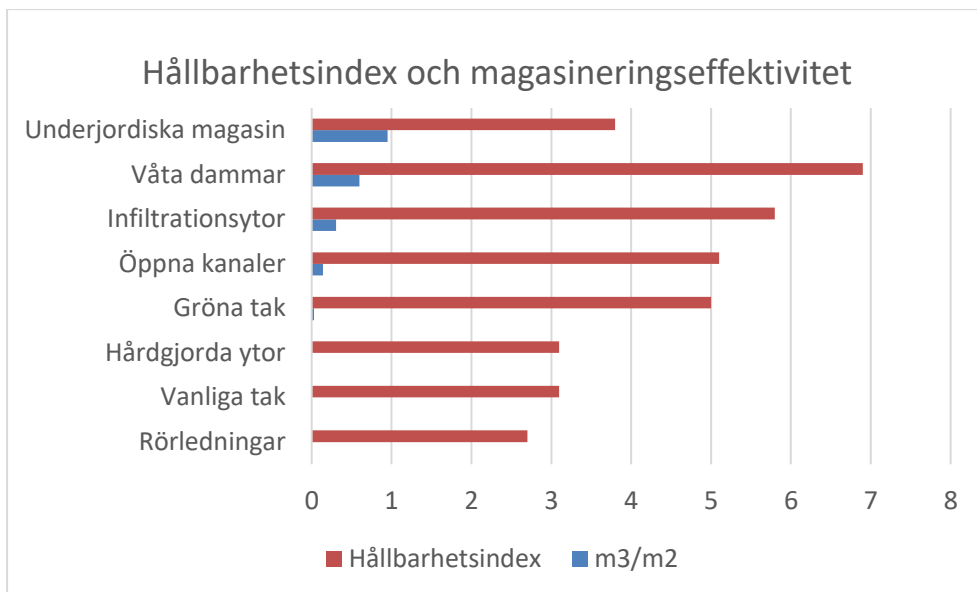
Tekniska aspekten ser till fördröjning, reducering och hur pass underhållsfri anläggningen är. Även här är våta dammar det bästa alternativet.

Socialt syftar till förbättring av boendemiljö, hur bra alternativet är som träffpunkt samt hur skötseln av anläggningen uppfattas. Våta dammar och infiltrationsytor har bästa värdet samtidigt som de är yteffektiva.

Från dessa värden kan man se att infiltrationsytor och våta dammar är de alternativ som borde prioriteras vid ombyggnation av de befintliga områdena utifrån ett hållbarhetsperspektiv och yteffektivitet. Våta dammar har den totalt högsta siffran, 6,9 av 10. Rörledningar, hårdgjorda ytor och vanliga tak har fått lägst index.

I Figur 5.2 jämförs magasineringseffektiviteten med det sammansatta hållbarhetsindexet. Underjordiska magasin som är det mest yteffektiva alternativet har dessvärre ett av de lägre hållbarhetsindexen. Ser man till miljö så är det inte självklart att underjordiska magasin är en blå grön lösning. Det finns möjlighet att låta dagvattnet infiltrera ner i marken från magasinerna, men är marken nästintill impermeabel som den är i Malmö, så är inte infiltration ett alternativ. Magasinerna gynnar varken biologisk mångfald eller skapandet av en grönare och trevligare stadsbild. De har dock en positiv effekt på flödestopparna. En del av hållbar dagvattenhantering är att minska flödestopparna så att hydrografens utseende blir mer lik hur den såg ut innan urbanisering, i och med fördröjning i magasinerna så uppnås detta.

Ser man till våta dammar har de både relativt hög yteffektivitet samt högsta hållbarhetsindexet. Detta kan vara värt att ha i åtanke vid val av dagvattenanläggning.



Figur 5.2 Hållbarhetsindex och magasineringseffektivitet där högst magasineringseffektivitet presenteras överst. (Ludzia, et al., 2014)

Den beräknade kostnaden för den planerade avloppstunneln är 1285 mkr. Kostnaderna för Augustenborgs dagvattensystem exkluderat de gröna taken var 35 mkr. Detta innebär att dryga 36 stycken områdena liknande Augustenborg skulle kunna byggas om för samma pris. Visserligen är det fortfarande nödvändigt att byta ut samlingsledningen mellan Turbinen och Sjölunda reningsverk. Hållbar dagvattenhantering är alltså ingen lösning till det problemet och borde alltså inte jämföras med priset för en ledning utan jämföras mot kostnaden av ett magasin med samma magasinande kapacitet.

I vilket fall måste en ny ledning placeras vid den sträcka där Malmö Avloppstunnel är planerad. Frågan är dock om det är nödvändigt med hela fyra meter i diameter. Implementerar man fördröjningsmagasin runt om i staden så behövs inte

samlingsledningen verka magasinering, vilket innebär att mindre dimensioner krävs och mindre schaktningsvolym.

Tunneln kommer att ligga 20 – 30 meter under markytan. Detta innebär att avloppsvattnet kommer att sänkas ner för att sedan pumpas upp i anslutning till reningsverket. Energin som en sådan pump kommer att kräva kommer vara ekonomiskt kostsamt och ha negativ miljöpåverkan.

De åtta områdena valdes utifrån tre kriterier, att de låg inom kanalens avrinningsområde, att de hörde till det kombinerade ledningsnätet samt att marken var kommunal. En annan aspekt som kan vara värd att beakta är var på ledningsnätet som fördröjningen borde ske. Om man vill placera fördröjningen långt upp i systemet eller längre ner, närmare reningsverket. Ju högre upp i systemet som vattnet fördröjs, desto bättre, eftersom mindre dagvatten samlas längre ner i systemet. Vill man motverka källaröversvämningarna är det viktigt att fördröja dagvattnet längre upp i systemet.

6 Slutsats

Denna studie visar att ur ett rent kvantitativt magasineringsperspektiv så är det möjligt att lösa problemet med bräddningar i centrala Malmös kanaler samt överbelastningen på Sjölunda reningsverk med hjälp av hållbar dagvattenhantering. Drygt sju områden med liknande förutsättningar som Augustenborg skulle behövas byggas om för att uppnå den nödvändiga magasinerande volymen.

Underjordiska magasin är det mest yteffektiva alternativet men tar man hänsyn till flera faktorer som förbättring av miljö och hur mycket arbete som krävs för att anlägga och underhålla dem så är våta dammar att föredra. Gröna tak och permeabla ytor har inte hög yteffektivitet, men om man ser till mängden tillgängliga ytor för dessa lösningar så har de ändå en betydande effekt.

Skulle det principiella syftet med tunneln vara att minska bräddningar och överbelastning på Sjölunda reningsverk så är kostnaden för tunneln väldigt hög. Detta med tanke på att man skulle kunna lösa problemet med hållbar dagvattenhantering för ungefär en femtedel av priset. Emellertid måste den befintliga samlingsledningen som ligger mellan pumpstationen Turbinen och Sjölunda reningsverk bytas ut. Om det är ekonomiskt försvarbart att bygga en djupt liggande tunnel istället för en ledning kan diskuteras.

7 Framtida arbete

Om åtta stycken områden liknande Augustenborg skulle byggas om beräknas kostnaden bli 280 mkr, beräknade kostnaden för avloppstunneln är 1 285 mkr, vilket innebär att dryga 1000 mkr resterar för byte av samlingsledningen mellan Turbinen och Sjölunda. Många aspekter måste ses till för att kunna göra en jämförelse för vad en nybyggnation av en konventionell samlingsledning utan magasinering skulle kosta istället för en avloppstunnel på 30 meters djup. Detta måste dock göras för att se om det är ekonomiskt försvarbart att istället magasinera med hjälp av hållbara dagvattenanläggningar.

Som nämnt så kommer avloppsvattnet att behöva höjas från tunneln till reningsverket. En uppskattning av vad kostnaderna blir för att pumpa allt avloppsvatten 30 meter upp till reningsverket bör göras.

Om dessa åtta områden skulle få hållbar dagvattenhantering, hur förändras halterna av föroreningar till reningsverket från dagvattnet? Skulle detta innebära mindre behov av rening vid reningsverket? Skulle detta minska kostnaderna vid reningsverket?

Genom att använda Google Earth och Arc GIS kan en närmare studie göras över de utvalda områdena. Utplacering av de olika blå-gröna anläggningarna i områdena utefter områdets förutsättningar bland annat topografi. Noggrannare beräkningar av områdets totala magasinvolym kan därefter utföras.

8 Litteraturförteckning

Aguayo, Stefan; konsult på Tyréns. 2016. Intervju 11 November.

Atkins Sverige AB, 2015. *Hälsovägen dagvattenutredning*. Atkins Sverige AB. Nacka: Atkins AB

Björlin, A., 2014. *Amfiteater på skolgård*. [Fotografi]. Huddinge Kommun.

Bloomington Government, 2016. *Water Consumption in Bloomington*. Bloomington Government. http://bloomington.in.gov/documents/viewDocument.php?document_id=3012 [Använd 5 Oktober 2016].

Byggros, 2015. *anrin-avvattningsraennor-ta-hand-om-dagvattnet-effektivt*. Byggros. <http://www.mynewsdesk.com/se/byggros/pressreleases/anrin-avvattningsraennor-ta-hand-om-dagvattnet-effektivt-1167506> [Använd 28 November 2016].

Byggros, 2016. *Takträdgårdar och sedumtak*. Byggros. <http://www.byggros.com/se/produkter/taktradgaardar-och-sedumtak/diadem-fardiga-systemlosningar-for-gronatak/diadem-750-intensiv-takterrass> [Använd 22 Oktober 2016]

City of Portland, 2016. *City of Portland Stormwater Management Manual*. 1 red. Portland: City of Portland.

EPA, 1999. *Storm Water Technology Fact Sheet - Vegetated Swales*, Washington D.D.: United States Environmental Protection Agency.

EPA, 1999. *Storm Water Technology Fact Sheet Flow Diversion*, Washington D.C.: United States Environmental Protection Agency.

Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P. S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D. & Viklander, M. 2014. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more - The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7): 525-542

Foresternetwork, 2016. *Cloudburst Mitigation in Copenhagen*.
Fosternetwork.

<http://foresternetwork.com/daily/water/green-infrastructure/cloudburst-mitigation-in-copenhagen-3/>
[Använd 24 November 2016].

Fridell, K. & Jergmo, F., 2015. *Regnbäddar - Biofiltret för behandling av dagvatten*, u.o.: Movium Fakta.

Haegglom, J. & Hallerth, J., 2016. *Kompakta öppna dagvattenlösningar i urban miljö*, Lund: Lunds Universitet.

HÅ & GJ, 2001. *Kv. Förrådet*. [Konstverk] (Mark & Miljö).

Isberg, R., 2015. *Skyfallsanalys för Vara kommun*, Växjö: DHI Sverige AB.

Klimatanpassningsportalen, 2016. *Öppen dagvattenhantering i Malmöstadsdelen Augustenborg, fördjupning*.

Klimatanpassningsportalen.

<http://www.klimatanpassning.se/atgarda/2.3113/oppendagvattenhantering-i-malmostadsdelen-augustenburg-fordjupning-1.33382> [Använd 20 Oktober 2016]

Larsson, R., 2008. *Jords egenskaper*, 5. Linköping: SGI Statens Geotekniska Institut.

Ludzia, A., Larsson, R. & Aguayo, S., 2014. Utvärdering av dagvattensystemets hållbarhet i Augustenborg, Malmö. *Tidskriften VATTEN*, pp. 107-112.

Malmberg, J., 2008. www.greenroof.se at: <http://www.sbhub.se/file/dokument/seminariepresentationer-2014/ett-forandra-klimat-i-stadsplaneringen/malmberggronatak.pdf> [Använd 15 Oktober 2016].

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

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

Mentens, J., Raes, D. & Hermy, M., 2005. *Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?*, Leuven: Elsevier.

Milotti, S. & Nyberg, U., 2016. [Intervju] (28 Oktober 2016).

Ministry of Natural Resources and Environment, 2016. *Urban Storm Water Management Manual*. 1 red. Kuala Lumpur: Department of Irrigation and Drainage.

Moreton Bay Waterways and Catchments Partnership, 2006. *Technical Design Guidelines South East Queensland*. 1 red. Queensland: Australian Governments.

Nilsson, J., 2013. *Busshållsplats på Gustaf Adolfstorg med grönt tak*. [Konstverk].

Pervious Pavement, 2011. *Pervious Pavement Design*. <http://www.perviouspavement.org/design/hydrological.html> [Använd 24 November 2016].

Ramböll, 2015. *Cloudburst Mitigation*. Ramböll. <http://www.ramboll.com/megatrend/feature-articles/cloudburst-mitigation> [Använd 2 December 2016].

SGU, 2016. www.sgu.se. <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jordarter-25-100.html> [Använd 15 November 2016].

Stahre, P., 2004. *En långsiktig hållbar dagvattenhantering*. Malmö(Skåne): Svenskt Vatten.

Stahre, P., 2008. *Blue-Green Fingerprints In the City of Malmö, Sweden*, Malmö: VA SYd.

Sweco, 2000. *Malmö Grundvatten*, Malmö: Miljöförvaltningen Malmö Stad.

Sweco, 2008. *Tunnel 2000, Malmö*, Malmö: VA Syd.

Sweco, 2014. *Komplettering av rapport avseende Tunnel 2000*, Malmö: Sweco.

Svensk Byggtjänst, 2016. *Dagvattenmagasin med stor volym*. Byggkatalogen.

<https://byggkatalogen.byggtjanst.se/nyheter/dagvattenmagasin-med-stor-volym/843>

[Använd 24 November 2016].

Svenskt Vatten AB, 2011 a. *Hållbar dag- och dränvattenhantering, Råd vid planering och utformning P105*. Stockholm: Svenskt Vatten AB.

Svenskt Vatten AB, 2016. *Avledning av spill-drän-och dagvatten. Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem*. P110 Del 1. Stockholm: Svenskt Vatten AB.

Svensson, C., 1996. *Ingenjörsgelogiska Exkursion Sveriges jordarter*, Lund: Lunds Tekniska Högskola.

USEPA, 2001. *On Site Underground Retention/Detention*, Washington D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.

VA Syd, 2015 a. *Malmö avloppstunnel, Underlag för beslut om fortsatt utredning*, Malmö: VASyd.

VA Syd, 2015 b. *Sjölunda Avloppsreningsverk Malmö, Miljörapport enligt Miljöbalken för år 2014*, Malmö: VA Syd.

VA Syd, 2016 a. *Bräddning i Malmö*. VA-Syd. <http://www.vasyd.se/Artiklar/Avlopp/Braddning-i-Malmo>[Använd 2 Oktober 2016]

VA Syd, 2016 b. *Malmö Avloppstunnel*. VA-Syd. <http://www.vasyd.se/Artiklar/Tunnel/Malmo-avloppstunnel> [Använd 20 September 2016]

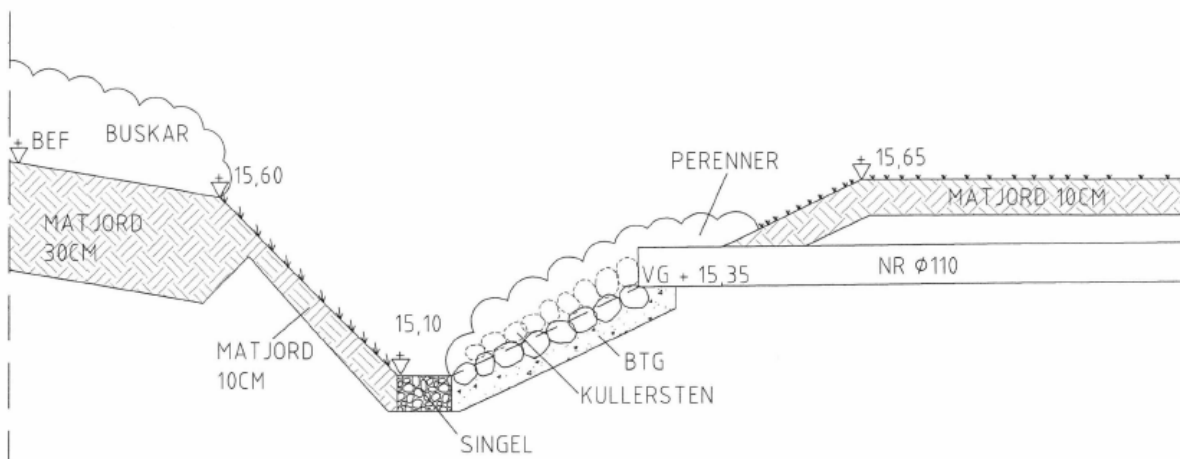
VA-Syd, 2011. *Ekostaden Augustenborg* , Malmö: VA-Syd.

Westlin, C., 2016. *Augustenborg*. MKB Fastighet. <https://www.mkbfastighet.se/hyresgast/omraden/soder/augustenborg/> [Använd 25 September 2016]

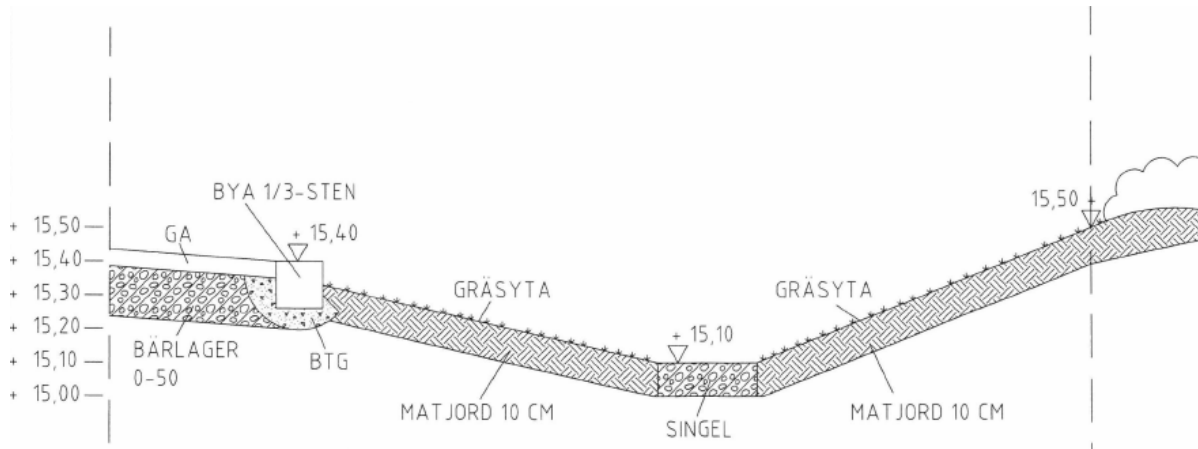
Wicote, E., 2015. *Idrottshögskolan i Göteborg*. [Konstverk].

Vinnova, 2014. *Grågröna systemlösningar för hållbara städer*, Stockholm: Vinnova.

Bilaga 1 - Ritningar på dagvattenanläggningar i Augustenborg



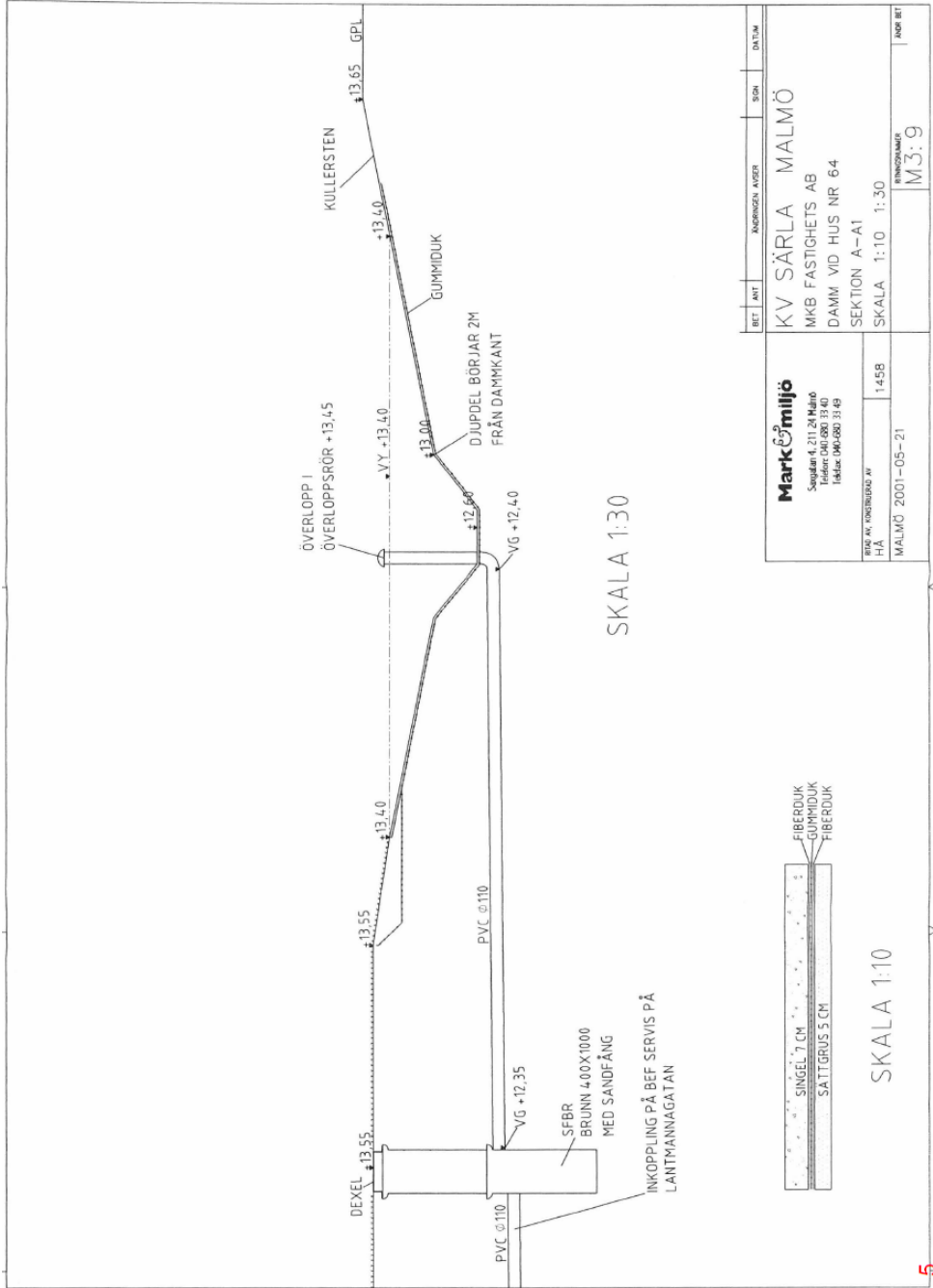
Figur 0.1 Ritning på ett svackdike i Augustenborg. Övrebredd 1,5m undre bredd 0,5 m. (skala 1:20) (HÅ & GJ, 2001)



Figur 0.2 Ritning från ett svackdike i Augustenborg. Övre bredd 1,2 m, undre bredd 0,2 m. (HÅ & GJ, 2001)

Damm med överloppsror

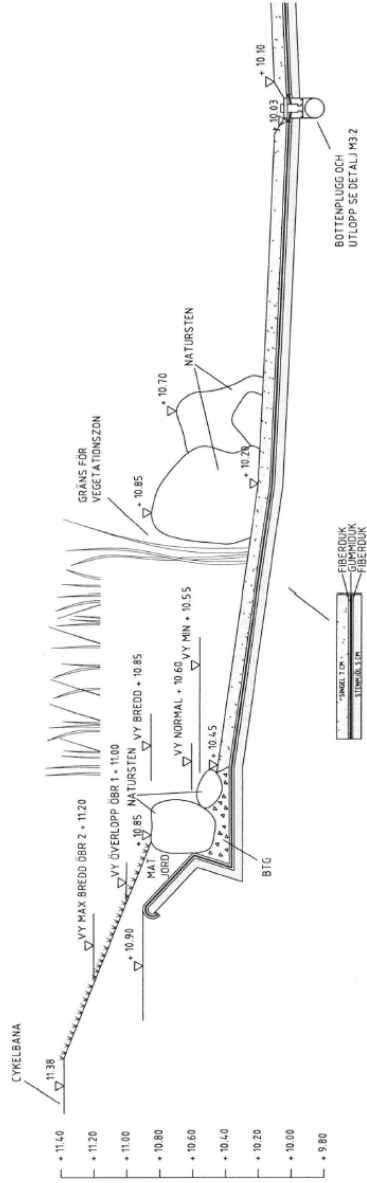
Damm med bottenplugg



| BET | ANT | ÄNDRINGEN AVSER | SKID | DATEM |
|-----|-----|-----------------|------|-------|
| | | | | |

| | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------------|
| Mark & Miljö | | KV SÄRLA MALMÖ |
| Sogårdens 4, 211 21 Malmö Telefon: 0402 33 400 E-post: mark@markmiljo.se | | MKB FASTIGHETS AB |
| RITA AV: KONSTRUKTÖR AV | | DAMM VID HUS NR 64 |
| HÄ | 1458 | SEKTION A-A1 |
| MALMÖ 2001-05-21 | | SKALA 1:10 1:30 |
| | | RENOVATION |
| | | M3:9 |
| | | AND BET |

SNITT A-A



| | |
|-----------------|------------------|
| RELATIONSSTNING | J.S. HÅ 20030629 |
| ARBETS PÅSER | Sen |
| RETT | DATA |

Mark & Miljö
 Skogstena 4, 211 24 Malmö
 Telefon: 040-680 33 40
 Telefax: 040-680 33 49

BYGG- OCH ANLÄGGNINGS BY
 J.S. HÅ 2045

MALMÖ 2003-04-29

FINANSIÖRNING
 M3:6

NOV 07

Bilaga 2 - Möjliga områden

Område 0



Område 2 & 3



Område 4



Område 5



Område 6



Område 7



Område 8



Område 9 & 10

