

Rening av dagvatten med hjälp av regnbäddar

av

Hanna Dufvenberg

Master Thesis number: 2016-12

Water and Environmental Engineering
Department of Chemical Engineering
Lund University

September 2016

Handledare: **Biträdande lektor Michael Cimbritz**
Biträdande handledare: **Karin Vendt, WSP**
Examinator: **Docent Karin Jönsson**

Foto på framsidan: Regnbädd på Monbijougatan i Malmö. Foto: Hanna Dufvenberg

Postal address

P.O. Box 124
SE-221 00 Lund, Sweden

Web address

www.vateknik.lth.se

Visiting address

Naturvetarvägen 14

Telephone

+46 46-222 82 85

+46 46-222 00 00

Telefax

+46 46-222 45 26

Förord

Denna rapport är resultatet av ett examensarbete på 30 hp som utförts under sommaren 2016. Examensarbetet ingår som en avslutande del i min utbildning till civilingenjör inom ekosystemteknik med inriktning mot vattenresurshantering.

Examensarbetet har varit ett samarbete med WSP:s kontor i Malmö och jag vill tacka för stödet jag har fått därifrån. Speciellt vill jag tacka Karin Vendt som varit till stor hjälp under hela arbetet. Jag vill också tacka Valdimir Givovich som bidragit med kunskap och information inom området för regnbäddar.

Ett stort tack till min handledare från universitet Michael Cimbritz för det stöd och engagemang han har visat i detta examensarbete samt för god vägledning under arbetets utveckling.

Jag vill även tacka Sofia Augustsson på NSVA, Kristina Hall och Susanne Johansson på VA SYD samt Eva Vall på Stockholm vatten AB för deras medverkan med intervjuer om kommunalt arbete med dagvatten och regnbäddar.

Till sist vill jag också rikta ett stort tack till familj och vänner för deras stöd under hela processen och då framförallt min man Pontus Dufvenberg och pappa Olof Sandström som har hjälpt till med korrekturläsning och redigering av arbetet.

Lund den 31 augusti 2016

Hanna Dufvenberg

Summary

This report aims to study raingardens and its functions in treating stormwater and filters suitable for the purpose. The EU waterdirective (2000) together with national and regional regulations concerning stormwater treatment and how these are fulfilled by municipalities will also be studied.

A raingarden is defined as "a vegetation-covered filter with a delaying zone used for infiltration and treatment of stormwater" and is part of the open stormwater solutions, i.e. to treat and delay stormwater before it enters into the recipient. This in order to decrease the risk of flooding and also to decrease the amount of pollutions let out in recipients.

Today there are five different basic constructions used in order to build a raingardens and they differ mainly with respect to the construction of the drainage. All five constructions have a lot in common and they all consist of an inlet, delay zone, protection for erosion, overflow area and some sort of drainage.

Different filters have shown to be differently sensitive to external impacts such as rain and drought, temperature, road salt, contaminant concentrations, different runoff scenarios and the choice of plants. A plantbed may reduce 50- 80 % of the total amount of heavy metals out of which the plants are responsible for 2-7 % of the uptake.

When selecting the filtermaterials it is important to consider what functions and results that are desired. Common filtermedias are sand, rusty soil, activated carbon, biochar, opoka, zeolite, membrane filters, pine-bark chips and peat. Generally it can be said that sand is a rather common filtermaterial that can be used in many different contexts. If the treatment is specified to a specific pollutant like heavy metals or nutrients the filter may consist of biochar or pine-bark chips and peat to gain a better result.

Considering the control of municipalities with respect to the water framework directive and national guidelines for Sweden the only requirement is for each municipality to create a policy for stormwater management. Apart from this there is not much that the municipalities are required to do which basically means that they to a large extent make their own rules. Depending on this municipalities have come differently far in their work in treating stormwater.

Sammanfattning

Denna rapport syftar till att studera regnbäddar och dess funktion vid rening av dagvatten samt vilka olika filter som kan användas. EU:s vattendirektiv från 2000 studeras tillsammans med hur kommuner arbetar med detta idag.

En regnbädd definieras som ”en vegetationsbeklädd markbädd med fördröjningszon för infiltrering och behandling av dagvatten” och är en del av en öppen dagvattenhantering, d.v.s. att dagvatten ska renas och fördröjas innan det når recipienten. Detta för att minska risken för översvämningar samt att minska mängden föroreningar som släpps ut i recipienter.

Det finns idag fem olika grundkonstruktioner för regnbäddar där det som framförallt skiljer dem åt är hur avvattningen är konstruerad. De olika konstruktionerna har mycket gemensamt såsom inlopp, fördröjningszon, erosionsskydd, bräddavlopp och någon form av dränering.

Olika filter har visat sig vara olika känsliga för yttre påverkan som regn- och torrperioder, temperatur, vägsalt, föroreningskoncentrationer, avrinningsförlopp samt valet av växter. Växtbädden reducerar 50- 80 % av den totala mängden tungmetaller och av det står växterna för 2-7 % av upptaget.

Vid val av filtermaterial är det viktigt att först och främst fundera på vilken funktion man vill uppnå. Vanliga filtermaterial är sand, rostjord, aktivt kol, biokol, opoka, zeolit, membranfilter, furubarksflis och torv. Generellt sett kan man säga att sand är ett mycket vanligt filter som kan användas i många sammanhang. Vill man istället rena mer specifikt för vissa tungmetaller och näringsämnen kan biokol eller furubarksflis och torv vara bättre alternativ.

Vad gäller reglering av kommuner gällande dagvatten finns det krav på att kommuner ska ta fram policier för dagvattenhantering men i övrigt saknas bestämmelser till stor del. Kommunerna sätter med andra ord i stor utsträckning sina egna krav vilket bidragit till att arbetet i olika kommuner idag kommit olika långt.

Populärvetenskaplig sammanfattning

De hotande klimatförändringarna tros komma att orsaka större och mer frekventa nederbördstillfällen. Därav ökar även behovet av att kunna ta tillvara på dagvattnet. Dagvatten är regnvatten som faller på marken men även vatten som exempelvis vid tvätt av bil rinner av på hårdgjord yta. Ena problemet med detta är översvämningsrisken och det andra, vilket är det som framförallt berörs i det här arbetet, är behovet av att rena vattnet innan det når ut till vattendrag, sjöar och hav. Reningen är viktig då föroreningar annars kan komma att orsaka omfattande negativa effekter på det marina livet, däribland övergödning och fiskdöd.

Dagvatten kan behandlas och tas om hand enligt flertalet olika lösningar, varav ett sätt att rena dagvatten från föroreningar innan det når ut i vattendragen är genom att anlägga en regnbädd.

En regnbädd är ett nersänkt eller upphöjt område, ofta inne i städer eller andra tätbebyggda områden, som är täckt av växtlighet. Den anläggs i första hand för att rena dagvatten och är dimensionerad för medelstora regnfall. Då regnbädden är täckt av ett grönskande lager bidrar den även till att skapa en mer positiv stadsbild. Under det grönskande lagret på regnbädden lägger man in filter och dränering. Filtren som läggs in består av olika material som väljs ut beroende på vad man vill rena vattnet från och dräneringen är till för att leda bort vatten om det kommer mer nederbörd än regnbädden är dimensionerad för. Föroreningarna i dagvattnet kommer bland annat från biltrafiken i städer och från kopparkoppar men även från åkrar och lantbruk och består av bland annat olja, koppar, zink, kväve och fosfor.

Beroende på vilket filtermaterial man väljer att använda kan man bestämma vilket/vilka ämnen man vill att bädden ska rena, detta då olika ämnen reagerar olika med olika material. Det finns riktlinjer både i Sverige och från EU om vilka ämnen man ska vara extra observant på och som man ska undvika att släppa ut i naturen. De riktlinjer man har att rätta sig efter är i regel snävt uppsatta och svåra att leva upp till. I svensk lag är det idag otydligt specificerat hur man ska mäta föroreningsnivåerna på dagvattnet eller vem som har det yttersta ansvaret för att dessa uppnås.

Många kommunala VA-bolag arbetar idag med att förbättra rening av dagvatten och strävar efter att kunna bygga fler reningsanläggningar. Ett stående problem för bolagen är dock att få mark att uppföra anläggningarna på. Även om ytan som krävs normalt inte är speciellt stor är det värdefull mark för många andra ändamål, exempelvis cykelbanor och husbyggande.

Ett problem på kommunal nivå är att man styrs av olika politiker med olika intressen under olika perioder vilket även försvårar samarbetet mellan kommuner. Det finns flera exempel på bra och fungerande kommunala arbeten men det finns behov av utökat samarbete.

Genom att flera kommuner går samman och arbetar mot samma mål finns möjlighet att tillsammans nå de krav på rening av dagvatten som finns samt sprida kunskap om varför det är viktigt att ta hand om dagvattnet, exempel på detta är VA SYD och NSVA. Även Stockholm vatten AB är ett stort kommunalt bolag som arbetar aktivt med frågan i en stor region.

Innehållsförteckning

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Inledning..... | 3 |
| 1.1 | Syfte och frågeställning..... | 3 |
| 1.2 | Metod..... | 4 |
| 1.3 | Begränsning..... | 4 |
| 1.4 | Upplägg..... | 4 |
| 1.5 | Källkritik..... | 5 |
| 2 | Vad är dagvatten?..... | 7 |
| 3 | Vad är en regnbädd eller ett biofilter?..... | 9 |
| 3.1 | Konstruktion och anläggning..... | 9 |
| 3.2 | Fem olika grundkonstruktioner för regnbäddar..... | 15 |
| 4 | Rening av dagvatten..... | 19 |
| 4.1 | Kemiska processer..... | 19 |
| 4.2 | Vilka filter renar för vilka föroreningar?..... | 20 |
| 4.3 | Rening av metaller..... | 25 |
| 4.4 | Rening av näringsämnen..... | 27 |
| 4.5 | Rening av kolväten..... | 28 |
| 4.6 | Rening av övriga ämnen..... | 29 |
| 4.7 | Hållbarhet och livslängd av filter..... | 29 |
| 4.8 | Kostnad för att anlägga en regnbädd..... | 30 |
| 5 | Tillåtna halter och gränsvärden..... | 33 |
| 5.1 | EU:s ramdirektiv för vatten..... | 33 |
| 5.2 | Verkliga och tillåtna halter..... | 35 |
| 6 | Dagvattenplanering i Sverige..... | 41 |
| 6.1 | Lokalt arbete..... | 41 |
| 7 | Sammanställning av resultat..... | 51 |
| 8 | Diskussion..... | 55 |
| 8.1 | Filter och konstruktion..... | 55 |
| 8.2 | Fördröjning eller rening..... | 57 |
| 8.3 | Riktlinjer..... | 57 |
| 8.4 | Jämförelse av föroreningshalter i Sverige mot givna riktvärden..... | 58 |
| 8.5 | Arbetet på lokal nivå..... | 59 |
| 8.6 | Framtiden..... | 61 |
| 9 | Slutsats..... | 63 |
| 10 | Källförteckning..... | 65 |

Figurförteckning

| | |
|---|----|
| Figur 3.1 Principiell skiss över hur en regnbädd är konstruerad (Melbourne Water, 2016). ... | 10 |
| Figur 3.2 Olika sorters inlopp för dagvatten till regnbäddar (Lindfors, et al., 2014). | 12 |
| Figur 3.3 Skiss över uppbyggnaden av regnbädd typ 1 (Lindfors, et al., 2014). | 16 |
| Figur 3.4 Skiss över uppbyggnaden av regnbädd typ 2 (Lindfors, et al., 2014). | 16 |
| Figur 3.5 Skiss över uppbyggnaden av regnbädd typ 4 (Lindfors, et al., 2014). | 17 |
| Figur 3.6 Skiss över uppbyggnaden av regnbädd typ 5 (Lindfors, et al., 2014). | 17 |
| Figur 4.1 Koncentrationen zink för in och utgående vatten för olika filtertyper (Ribé, et al., 2013). | 26 |

Tillstånd att publicera bilderna har givits av samtliga upphovsrättsmän.

1 Inledning

Med de förutspådda klimatförändringarna ökar risken för fler och större regntillfällen än vad vi tidigare haft. Detta tillsammans med urbaniseringen bidrar till ett ökat behov av en fungerande dagvattenhantering. För att ta hand om dagvatten finns många olika alternativ varav ett är användandet av regnbäddar.

Namnet regnbädd eller biofilter kommer från engelskans *raingardens* och uppkom i slutet av 80- talet i Nordamerika och Australien. Man började anlägga *raingardens* då det ansågs vara mer ekonomiskt än andra konventionella lösningar för dagvattenhantering (Lindfors, et al., 2014).

Regnbäddar kan användas för att fördröja dagvatten i syfte att minska risken för översvämningar samt för att rena regnvatten från förorenande ämnen. Det finns dock ytterligare positiva implikationer såsom ökad biodiversitet, en förbättrad känsla av staden, skydd mot erosion i urbana vattenområden, ökad grundvattenspåfyllnad inbjuder dessutom befolkningen till en grönare och hållbarare stad (Braskerud, et al., 2013). Gröna områden i städer har visat sig ha en positiv effekt på människors hälsa och välbefinnande (Williams, et al., 2014). Dessutom har regnbädden en positiv inverkan vid extrema väderförhållanden (Fridell, 2015).

En regnbädd är ofta en nedsänkt bädd som täcks med vegetation, dock är det inget måste att den är nedsänkt utan kan även vara en upphöjd växtbädd. Under vegetationsytan finns det filtermaterial och dräneringsanläggning som vid ett nederbördstillfälle renar och fördröjer vattnet (Lindfors, et al., 2014). I urbana områden behöver ytvattnet renas då det förorenas av biltrafik, byggnader och föroreningar i atmosfären (Lindfors, et al., 2014) och föroreningarna består framförallt utav partikulära ämnen, näringsämnen, tungmetaller och olja (Fuerhacker, et al., 2011). Det förorenade vattnet leds till en regnbädd där det renas genom olika processer och de processer som framförallt är aktiva vid rening av dagvatten är filtrering, sedimentering, absorption och adsorption (Lindfors, et al., 2014).

I Sverige är de viktigaste lagarna, med hänsyn till dagvattenhantering plan- och bygglagen (PBL) och miljöbalken. Enligt PBL ska det fastställas riktlinjer och regler för hur dagvattenhanteringen ska lösas i ett område. Föreskrifter och regleringar som gäller dagvattenhanteringen i Sverige säger att kommuner måste arbeta med och ta fram en dagvattenpolicy (Stahre, 2007). Dock finns en viss otydlighet om vem som ska betala vad, vilket försvårar planering och utbyggnad (Alm & Åström, 2014). Enligt EU:s vattendirektiv ställs det dock tydligare krav kring hur stor mängd av varje ämne som är tillåtet.

I rapporten tillhandahålls en sammanställning av vad en regnbädd klarar av. Information presenteras rörande olika regnbäddar samt filtermaterial och dess funktion beroende på förhållande. Slutligen sammanställs kommunernas arbete i dagvattenfrågan för att tydliggöra behovet av dagvattenlösningar. En sammanställning av detta kan förhoppningsvis förenkla och ligga till grund för det fortsatta arbetet med dagvattenrening.

1.1 Syfte och frågeställning

Syftet med rapporten är att sammanställa och analysera hur en regnbädd kan användas för att fördröja och rena dagvatten samt vilka begränsningar som finns. Den syftar även till att klar-

göra valet av ämen som bör prioriteras vid rening av dagvatten, samt till att exemplifisiera hur kommunala bolag arbetar med att följa upp krav och rekommendationer från högre instanser.

1.1.1 Frågeställning

- Hur kan regnbäddar användas i olika områden för att rena dagvatten?
- Vilka filter renar för vilka föroreningar?
- Hur arbetar man med dagvattenplanering på kommunal nivå?

1.2 Metod

Information har inhämtats genom litteraturstudier samt samtal med utvalda personer vid VA SYD, NSVA och Stockholm vatten AB. Samtliga organisationer är stora bolag i större stadsregioner och är av intresse att studera då de hanterar dagvatten som blir exponerat för mycket föroreningar från exempelvis biltrafik.

Information har inhämtats från:

- Relevanta artiklar för rening av dagvatten med hjälp av biofilter. Artiklarna har framförallt sökts fram från sökmotorerna LUBsearch och Google.
- Tidigare studier av reningseffekt för biofilter.
- Kontakt med berörda personer på VA SYD, NSVA och Stockholm vatten AB för att ta reda på vad de prioriterar inom dagvattenrening. VA SYD och NSVA är kommunala bolag där flera kommuner samarbetar för att ta hand om vatten och avlopp. Samtal med öppna frågor om hur bolagen ser på dagvattenhantering och hur de ser på öppna dagvattenlösningar generellt och regnbäddar i synnerhet. På NSVA hölls samtalet med VA-ingenjör Sofia Augustsson, på VA SYD med miljöingenjör Susanne Johansson och utredningsingenjör Kristina Hall och på Stockholm vatten AB hölls samtalet med utredningsingenjör Eva Vall. På begäran har VA SYD och Stockholm vatten AB läst igenom det som står skrivet om dem innan det publicerats.
- Information från de olika kommunala bolagens hemsidor.

1.3 Begränsning

Rapporten studerar endast hur en regnbädd kan användas inom Sverige samt hur tre svenska kommunala bolag klarar av att leva upp till EU:s mål om en fungerande dagvattenhantering. Fokus ligger på dagvattenhantering med hjälp av regnbäddar i urbana miljöer och därmed även på rening av urbana föroreningar för svenska förhållanden och regnbäddens funktion under andra klimatförhållanden beaktas inte.

1.4 Upplägg

Rapporten inleds med en genomgång av hur en regnbädd är uppbyggd och vilka olika komponenter en regnbädd består av. Detta följs av ett avsnitt som behandlar renings- och fördröjningsfunktion och hur de påverkas av olika föroreningar och filter. Därefter kommer ett avsnitt innehåller de krav som ställs på kommunala bolag och en sammanställning av resultaten. Sammanfattning av resultat med diskussion presenteras i den avslutande delen där även förslag till hur respektive kommunala bolag skulle kunna använda sig av regnbäddar i ett steg att uppfylla kraven från EU och Miljömålsberedningen presenteras.

1.5 Källkritik

Litteratur som handlar om dagvatten finns det gott om, dock finns det mindre om regnbäddar som använts i svenskt klimat. Den litteratur som använts har dock varit anpassad för just svenska förhållanden och därför bör den bidra med tillförlitlig information

Litteraturen som använts har bestått av artiklar, rapporter, studentarbeten och böcker från många olika författare. Innehåll och fakta i dessa källor har stämt bra överens varför man kan förvänta sig att fakten stämmer. Informationen som är inhämtad vad gäller lokalt arbete, det vill säga avsnitten som handlar om NSVA, VA SYD och Stockholm Vatten (6.1.1, 6.1.2, 6.1.3), är dock inhämtad från respektive aktör och skulle därför kunna anses vara vinklad. Dock handlar dessa delar om det arbete de utför idag och hur de planerar inför framtiden vilket endast är möjligt att få från aktörerna själva.

2 Vad är dagvatten?

Definitionen av dagvatten är enligt Naturvårdsverket ”Nederbördsvatten, dvs regn- eller smältvatten, som inte tränger ned i marken, utan avrinner på markytan” (2 § SNFS 1994:7) och enligt en regeringsproposition ”Tillfälliga flöden av t ex regnvatten, smältvatten, spolvatten och framträngande grundvatten” (prop 05/06:78 s 44).

Dagvatten är alltså regnvatten som faller på marken men även vatten som exempelvis vid tvätt av bil rinner av på hårdgjord yta. Vatten som använtas för att tvätta bilar samt regnvatten som faller i städer där det finns höga utsläpp av miljöfarliga ämnen behöver därför tas omhand för att minska risken för förorening av vattendrag (Dagvattenguiden, 2016). Ett sätt att rena dagvatten är genom att låta det filteras genom en regnbädd.

Genom att regnvatten tar med sig föroreningar från bilavgaser, byggnader och atmosfären är rening från metaller såsom zink, koppar och bly en viktig funktion för regnbädden. Dagvattnet renas från metaller genom adsorption när vattnet infiltreras genom jorden (Davis, et al., 2003). Ytvattenavrinning i städer innehåller både partiklar och lösta föroreningar, exempelvis förekommer koppar och zink framförallt i löst form medan bly ofta är i partikelform (Li & Davis, 2008). Det är extra viktigt att rena dagvattnet från lösta metaller eftersom de är mer biotillgängliga än de partikelbundna metallerna (Blecken, 2016). Vanliga ämnen i dagvatten finns listade i tabel 2.1 nedan.

Tabell 2.1 Vanligt förekommande ämnen i dagvatten

| | | |
|--------|--------|-------------|
| Fosfor | Kväve | Bly |
| Koppar | Zink | Kadmium |
| Krom | Nickel | Kvicksilver |
| Olja | BaP | |

För att få en tydligare uppfattning om vilka föroreningar som finns i dagvatten samt i vilken omfattning de förekommer och hur svåra de är att rena från, hänvisas till avsnitt 4.7 och tabell 4.2 med efterföljande förklarande text.

3 Vad är en regnbädd eller ett biofilter?

Ordet regnbädd och biofilter kommer i texten att användas parallellt med samma betydelse. Definitionen av en regnbädd är ”en vegetationsbädd med fördröjningszon för infiltrering och behandling av dagvatten” (Fridell, 2015). En regnbädd är en del av en öppen dagvattenhantering vilket betyder att dagvatten ska rensas och fördröjas innan det når recipienten (Eliasson, 2013), detta för att minska risken för översvämningar samt minska mängden föroreningar som släpps ut i hav och sjöar. En regnbädd är ett enkelt system och kräver mindre underhåll än många andra dagvattensystem (CIRIA, 2015). Exempel på en vanlig underhållsåtgärd för många dagvattenlösningar är rensning och pumpbyte.

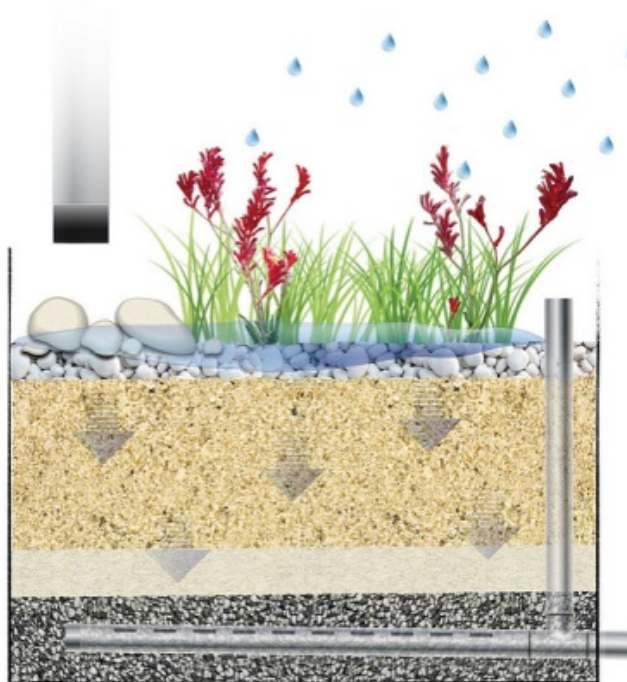
En regnbädd kan beskrivas som en sänka i landskapet som är täckt med vegetation. Under vegetationstäcket finns filtermaterial som kan ta hand om och rena eller fördröja dagvattnet (Svenstrup, 2012). Detta gäller för de flesta dagvattenlösningar men en regnbädd designas ofta för en av egenskaperna, d.v.s. antingen rening eller fördröjning. En regnbädd används som ett alternativ till att leda dagvattnet i ledningar till avloppsreningsverken (Svenstrup, 2012). Vid nederbörd leds dagvattnet från hårdgjorda ytor in till regnbädden. En del av vattnet avdunstar på vägen dit, en del tas upp av växter som planteras i den och en del infiltrerar regnbädden ner i filtermaterialet. Det vatten som når filtermaterialet rensas via fysikaliska, kemiska och biologiska processer. Vattnet infiltreras sedan vidare ner i underliggande jord eller dräneras bort med hjälp av dräneringsrör beroende på förutsättningarna på platsen. Det går även att kombinera dessa två så att en del infiltreras medan en del dräneras (Eliasson, 2013) (Svenstrup, 2012).

En regnbädd kräver ofta större ytor än många andra dagvattenlösningar och är därför ett bra alternativ på exempelvis skolgårdar, parkeringsplatser och i vägkorsningar (Lindfors, et al., 2014). Skötselbehovet av regnbädden är olika från bädd till bädd men beror framförallt på vilka olika växter man väljer att plantera (Braskerud, et al., 2013).

3.1 Konstruktion och anläggning

En regnbädd består i princip av en växtbädd med underliggande filtermaterial och under filtret finns i vissa fall dräneringsrör. Växtbädden planteras därefter med växter som tål både torra och stående vatten (Eliasson, 2013).

Regnbädden består vanligtvis av naturligt jordmaterial eller ett konstgjort medium med ett djup på 700 - 900 mm (Blecken, 2016). Eftersom växtbädden ofta utsätts för mycket vatten är det viktigt att den konstrueras så att det inte blir för syrefattig för växterna i den (Lindfors, et al., 2014). Olika sorters konstruktioner av regnbädden beskrivs i sektion 3.2. I figur 3.1 visas en principiell skiss över hur en regnbädd är konstruerad.



Figur 3.1 Principiell skiss över hur en regnbädd är konstruerad (MelbourneWater, 2016).

Publicerad med tillåtelse av Melbourne Water.

En regnbädd har en flexibel konstruktion och kan därför i viss mån anpassas efter befintligt landskap. Det krävs dock att det är relativt flackt och anläggningsplatsen bör ha en lutning mellan 1-5 % för att uppnå bästa resultat. Anledningen är att avrinningshastigheten för vattnet in till regnbädden helst ska vara så låg som möjligt för att möjliggöra en effektivare behandling av vattnet (Eliasson, 2013). Vad gäller rekommendationer för anläggning av regnfilter ska de alltid ses som generella riktlinjer snarare än faktisk sanning. Detta beror på att alla områden har olika förutsättningar och biofilter är en mycket flexibel konstruktion med stor variation på utformning (Lindfors, et al., 2014).

När det gäller vegetationsval för rening och fördröjning kan mycket små förändringar på känsliga parametrar få stora konsekvenser. Det är därför viktigt att göra utförliga utredningar för att nå ett lyckat resultat (Lindfors, et al., 2014).

Det finns olika uppgifter om hur stor en regnbädd bör vara i förhållande till avrinningsområdet, 5-10 % enligt Braskerud et al. (2013), 2-4 % enligt CIRIA (2015) och 2-6 % enligt Blecken (2016). Klart är dock att en regnbädd kräver en stor yta relativt avrinningsytan för att kunna tillgodose behoven av rening och fördröjning. Om anläggningen är mindre finns risk för att den blir överbelastad (Braskerud, et al., 2013). Storleken är också avhängig anläggningens avrinningshastighet in till regnbädden.

Viktigt när man ska dimensionera för en regnbädd är att bestämma vilken återkommstid regnet man dimensionerar för har. För regnbäddar dimensionerar man vanligtvis för en åter-

kommstid på 2-10 år (Lindfors, et al., 2014) men även här finns olika uppgifter och enligt Blecken (2016) dimensioneras de för regnfall med $\frac{1}{2}$ -2 års återkommstid. Vid kraftigare regn leds en del vatten förbi med hjälp av bränningsdiken (Blecken, 2016).

Det finns idag fem olika grundkonstruktioner, se kapitel 3.2, för regnbäddar där det som framför allt skiljer dem åt är hur avvattningen är konstruerad. Vid utformning av en regnbädd behandlas normalt följande: förbehandling, inlopp, erosionsskydd, filtermaterial, dräneringssystem, vattenmättad zon och vegetation. (Fridell, 2015).

3.1.1 Förbehandling

Om dagvattnet innehåller höga halter av sediment krävs en förbehandling av vattnet innan det når biofiltret. Om sedimentkoncentrationen är hög riskerar filtret annars att slamma igen. Exempel på förbehandlingar är sedimentationsdammar och svackdike (Lindfors, et al., 2014).

Ett svackdike är ett brett och grunt växtbeklätt dike som anläggs längs med gator. De anläggs för att minska flödet av vatten på stadens gator och vägar men också för att de har en renande effekt på dagvattnet. Ett svackdike minskar även inflödes hastigheten till regnbädden då vattnets hastighet minskar då det ska infiltrera svackdiket. Behöver hastigheten minskas ytterligare kan man förse diket med ett strypt utlopp (Norconsult, 2011). Ett svackdike påminner till stor del om en regnbädd dock har svackdiket inte de filter som en regnbädd har.

En sedimentationsdamm bygger på att partiklar tyngre än vatten sjunker till botten. Därför utformas den som en damm där vattnets hastighet bromsas upp och partiklar kan sedimentera ner till botten innan vattnet går vidare in i regnbädden (Länsstyrelsen, 2016).

3.1.2 Inlopp

Inflödet till regnbädden kan komma från stuprör, hårdgjorda ytor eller icke hårdgjorda ytor. En regnbädd konstrueras för att kunna ta emot, rena och/ eller fördröja mindre regn. De kan ha en positiv inverkan även vid större regn men de är normalt inte dimensionerade för att kunna ta hand om och fördröja mer än ett 10-års regn (Braskerud, et al., 2013).

Inloppets konstruktion är det som avgör hur mycket vatten som kan ledas in i regnbädden samt med vilken hastighet det leds in. Om det är en stor regnbädd kan även flera inlopp anläggas så att vattnet snabbare fördelas över en större yta (Lindfors, et al., 2014). I figur 3.2 visas principen för fyra olika inlopp till regnbäddar.



Figur 3.2 Olika sorters inlopp för dagvatten till regnbäddar (Lindfors, et al., 2014).

Publicerad med tillåtelse från Sweco.

3.1.3 Erosionsskydd

Erosionsskydd används för att undvika att jordytan bryts ner till följd av rinnande vatten och är därför bra att ha vid inloppet till regnbädden. Risken för erosion är beroende på bland annat jordens egenskaper såsom partikelstorlek, mängd och tyngd men också på hur inloppet är utformat. Inlopp som har en hög fallhöjd och består av lätteroderad jord är mer utsatta än inlopp som består av en bäckfåra eller ett rör (Carlsson & Persson, 2006). Erosionsskyddet kan även användas för att minska inflödes hastigheten in till regnbädden vilket i sin tur bidrar med en mindre försedimentering vilket kan vara bra om man inte har någon förbehandling av inkommande vatten (Lindfors, et al., 2014).

Vegetation är generellt ett bra sätt att undvika erosion men för att det ska fungera effektivt måste växterna få ordentligt fäste (Carlsson & Persson, 2006). Ett exempel för att motverka erosion under regnbäddens första år är att använda ettåriga växter såsom blomsteråkerfröblandning. Fröblandningen sprids ut över regnbädden och växer relativt snabbt, man bör dock beakta risken att fröerna sköljs bort om det kommer mycket regn direkt efter sådd (Lindfors, et al., 2014).

3.1.4 Filtermaterial

För att en regnbädd ska kunna uppnå kraven om rening ställs höga krav vid valet av filtermaterial. För att uppnå en hög infiltrationskapacitet krävs att filtermaterialet har hög hydraulisk konduktivitet (Eliasson, 2013). En regnbädd konstrueras ofta så att synligt stående vatten kan dräneras bort inom 12- 48 timmar, detta för att klara flera tätt kommande nederbördstillfällena (Lindfors, et al., 2014). Det förenklar även växtvalet då det finns få växter som tål torka som även klarar av stående vatten under en längre tid (Eliasson, 2013). Ett annat problem med

om synligt stående vatten under en längre tid är att det gynnar myggpopulationer, 48 timmar är dock för kort tid för att äggen ska hinna kläckas (Eliasson, 2013).

För olika sorters växtlighet rekommenderas olika djup på regnbädden och det varierar mellan 400 och 800 mm beroende på om det är perenner, buskar eller träd som ska planteras (FAWB 2009).

Växterna har vissa krav gällande tillgång på syre, vatten och näring. Det är dock inte alltid som dessa krav stämmer överens med vad som krävs för att de ska fungera som ett bra filtermaterial för rening och fördröjning. Ett exempel är att det för att uppnå en bra rening är bra med höga halter av lera som kan absorbera föroreningar. Lera leder dock i sin tur till lång infiltrationstid och risk för syrebrist för växterna. Om man istället satsar på att ha en bra fördröjningseffekt så kan man använda material som släpper igenom mycket vatten, vilket leder till sämre rening och mindre växttillgängligt vatten. Man brukar föreslå att man utgår från 70 % sand, 15 % växtjord och 15 % organiskt material och därefter anpassning efter specifika behov. Det är viktigt att materialet som används har en låg fosforhalt för att minska läckage till recipienten (Lindfors, et al., 2014). I Tabell 3.1 finns rekommenderade värden på växtjordens fysiska egenskaper.

Tabell 3.1 Rekommendationer på fysiska egenskaper för växtjord (Lindfors, et al., 2014)

| Fysiska egenskaper | Rekommendation |
|---------------------------------------|----------------|
| Total porositet | >50 % |
| Luftfylld porositet (50 cm tension) | >10% |
| Vattenfylld porositet (50 cm tension) | >40% |
| Mättad hydraulisk konduktivitet | 75-300 mm/h |
| Mullhalt (planteringar) | 5-9% |
| Mullhalt (gräsytor) | 3-5% |

För att minska risken för att giftiga gaser uppstår då organiskt material bryts ner under syrefattiga förhållanden kan man lägga ett substrat under växtjorden som innehåller låga halter organiskt material, nämligen sandbaserad mineraljord. Om växtbädden görs djupare än 500 mm bör det ligga ett lager med sandbaserad mineraljord därunder. Denna bör bestå av homogen sand i fraktionen 0.1 – 1.0 mm med en mättad hydraulisk konduktivitet på < 75 mm/h och en mullhalt på 1 – 2 %. Vid användning av sandbaserad mineraljord fungerar den även som ett materialskiljande lager och hindrar växtjord att förflytta sig till dräneringslagret (Lindfors, et al., 2014).

Om grundvattnet under regnbädden inte garanterat kan skyddas från föroreningar ska infiltration undvikas. Detta kan exempelvis göras genom att lägga en impermeabel duk under samt tillgodose god dränering (CIRIA, 2015).

3.1.5 Dräneringssystem

För att kunna dränera tillräckligt med vatten krävs det att infiltrationshastigheten är högre hos det dränerande systemet än hos filtermaterialet. För att leda bort stående vatten används dräneringssystem antingen ovan eller under mark, vilket man väljer beroende på markens förutsättningar.

3.1.6 Vattenmättad zon

För att undvika att filtermaterialet helt torkar ut vid en längre period utan nederbörd kan man anlägga ett vattenlås i botten på filtret och därmed skapa ett internt vattenförråd. Ett vattenlås är ett rör som böjts så att vatten hålls kvar i en del av filtret (Lindfors, et al., 2014).

Den vattenmättade zonen skapar även en syrefattig miljö som har positiv effekt på reducering av kväve med hjälp av bakterier i dagvattnet. Om man dessutom tillsätter en kolkälla, exempelvis 50 % träflis och 50 % mull, ökar reduceringen ytterligare. Den vattenmättade zonen bör vara minst 300 mm djup och bestå av grus eller sandmaterial (Lindfors, et al., 2014).

3.1.7 Vegetation

Växterna i regnbädden fyller en viktig funktion då de stabiliserar filtermaterialet och därmed minskar risken för erosion. De upprätthåller även mikrobiella reningsprocesser och tar upp näringsämnen och metaller direkt (Blecken, 2016).

Växterna i regnbädden ska vara anpassade efter torra till normala förhållanden. För att klara av att stå i en regnbädd ska de tåla liknande förhållanden som växter som står i strandzoner nära hav, sjöar, åar och floder. Dock måste även hänsyn tas till klimat, funktion och estetik vid val av växter. Andra viktiga faktorer som påverkar växtvalet är sol och vind men även jordens fördröjningsegenskaper, val av biofilter och föroreningsnivå på vattnet (Lindfors, et al., 2014).

Förslag på växter som passar att använda i biofilter finns presenterade i tabell. 3.2. Gemensamt för samtliga växter är att de är örter och halvgräs som alla växer naturligt i strandnära zoner. De tål också både torra och fuktiga förhållanden samt en låg koncentration av salt (Lindfors, et al., 2014).

Tabell 3.2 Växtförslag för regnbädd (Lindfors, et al., 2014).

| Latinskt namn | Svenskt namn |
|---------------------|----------------|
| Aster tripolium | Strand aster |
| Carex sp. | Starr |
| Juncus gerardii | Salttåg |
| Juncus effuses | Veketåg |
| Lysimachia vulgaris | Strandlysing |
| Lysthrum salicara | Fackelblomster |
| Veronika longifolia | Strandveronika |

Vid val av växter att plantera är det bra att välja större plantor med en stor rotvolym, detta då de har lättare för att etablera sig i krävande miljöer. Dessutom är större plantor mer tåliga för torka än små (Lindfors, et al., 2014).

3.2 Fem olika grundkonstruktioner för regnbäddar

En regnbädd består ofta av en porös jord som täcks med ett par centimeter lövträskompost. Sen planteras växter för att öka evapotranspirationen, den biologiska aktiviteten samt för att behålla jordens porositet och hydrauliska konduktivitet (Li & Davis, 2008). Filtermaterialet har en vertikal tjocklek på 500-800 mm. Detta ligger ovanpå ett övergångslager på 30-100 mm. Under detta ligger antingen ett dräneringslager med ledningar på 100-150 mm i diameter eller så sker här infiltration till omkringliggande mark. Vilken lösning som väljs beror på områdets föutsättningar (Blecken, 2016).

Generellt kan man säga att en regnbädd konstrueras för att kunna ta emot de första 15 - 25 mm nederbörd. Om nederbördstillfället är kraftigare än 20 mm bör det ledas bort från biofiltret för att tas omhand av andra typer av dagvattenhantering (Fridell, 2015). För att få en uppfattning av hur mycket 20 mm regn är så är det den mängd regn som faller på ca 15 min vid ett 20 års regn (Svensson, et al., 2016). Nedan presenteras fem olika grundkonstruktioner för hur man kan anlägga en regnbädd. Skillnaden mellan de olika konstruktionerna är främst hur avvattningen är konstruerad.

3.2.1 Regnbädd typ 1

Regnbädd typ 1 lämpar sig på platser där mycket regnvatten är att vänta och där man samtidigt kan ha nytta av vattnet. Regnbädden har inget externt avvattningsystem, alltså måste jorden ha en stor genomsläpplighet. Om en dagvattenbädd av typ 1 ska anläggas bör den föregås av grundläggande markundersökningar för att säkerställa att marken klarar av påfrestningen av en stor mängd perkolerande vatten. Om vattnet har höga halter av förorening bör man inte välja denna regnbäddstyp på grund av risken för förorening av grundvattnet. Ur säkerhetssynpunkt bör inte heller några stora byggnader finnas i närheten på grund av risken för en höjd grundvattennivå (Fridell, 2015).



Figur 3.3 Skiss över uppbyggnaden av regnbädd typ 1 (Lindfors, et al., 2014).

Publicerad med tillåtelse av Tengbom arkitekter.

3.2.2 Regnbädd typ 2

För regnbädd typ 2 gäller samma säkerhetskrav som för typ 1 vad gäller föroreningar och byggelse. Den är dock försedd med en dräneringsledning för att säkerställa att tillräckligt med vatten avleds från bädden och inte blir stående i bädden (Fridell, 2015).



Figur 3.4 Skiss över uppbyggnaden av regnbädd typ 2 (Lindfors, et al., 2014).

Publicerad med tillåtelse av Tengbom arkitekter.

3.2.3 Regnbädd typ 3

Typ 3 skiljer sig mer från typ 1 och 2. Här läggs ett makadamfilter och en dräneringsledning i ovankant av makadamlagret. Dräneringsledningen för bort överskottsvatten och förhindrar därmed att systemet bli överbelastat och makadamlagret skapar en fördröjningszon under växtjorden vilket skapar möjlighet till ökad perkolerering av det infiltrerade vattnet. Makadamlagret förhindrar även att vatten tränger upp till växtjorden igen, genom att verka som kappilärbrytande skikt (Fridell, 2015).

Denna typ av regnbädd lämpar sig för områden med stor påfyllning av vatten, låga föroreningshalter och avsaknad av känsliga närliggande byggnader (Fridell, 2015).

3.2.4 Regnbädd typ 4

Regnbädd typ 4 är mer lämpad för områden där det finns stor risk för höga halter av föroreningar. Här lägger man en tät duk under makadamlagret och även upp på kanterna. Detta gör man för att undvika att föroreningar kommer ner till grundvattnet men också för att skydda närliggande anläggningar (Fridell, 2015). För både typ 3 och 4 gäller att de har en ojämnare fukthalt mellan nederbördstillfällena än typ 1,2 och 5 (Wellander, 2015).



Figur 3.5 Skiss över uppbyggnaden av regnbädd typ 4 (Lindfors, et al., 2014).

Publicerad med tillåtelse av Tengbom arkitekter.

3.2.5 Regnbädd typ 5

Regnbädd typ 5 liknar typ 4 med en tät duk under makadamlagret. Skillnaden är att här sätts ett vattenlås in vilket skapar ett internt vattenförråd och därmed en syrefattig vattenmättad miljö, se kapitel 2.1.6,. Denna anläggning passar i områden där man väntar sig långa perioder av torka under sommaren alternativt för områden där det endast kan användas ett tunnt lager växtjord (Fridell, 2015).



Figur 3.6 Skiss över uppbyggnaden av regnbädd typ 5 (Lindfors, et al., 2014).

Publicerad med tillåtelse av Tengbom arkitekter.

Fördelen med vattenlås är att vattnet hålls kvar i anläggningen under en längre tid och därför kan man även förvänta sig en bättre reningseffekt och avdunstning av vatten till växterna. Genom att det bildas en anaerob miljö främjas även denitrifikationsprocessen och därmed även reningskapaciteten av kväve (Fridell, 2015).

För regnbäddstyp 5 kan man även utesluta den täta duken. Då ökar infiltrationen till omgivningen och förmågan att klara längre torra perioder minskar (Fridell, 2015).

4 Rening av dagvatten

Den första regnbädden byggdes i början av 1990-talet i Prince George's County i Maryland, USA (Eliasson, 2013). Anledningen till att man började intressera sig för regnbäddar berodde på att man ville hitta ett sätt att ta hand om dagvattnen som inte enbart innefattade att leda bort det i ledningar (Fridell, 2015). Den första regnbädden byggdes för att påvisa möjligheten att ta hand om dagvatten med hjälp av naturliga system utan reningsverk. Anläggningen visade sig ha en reningseffekt på 20 % vilket möttes av positiva reaktioner och banade väg för fler anläggningar (Eliasson, 2013).

I en regnbädd eller biofilter är tanken att man framförallt ska kunna förlita sig på naturliga processer vid vattenrening (Fridell, 2015). Regnvatten sedimenteras och filtreras genom regnbädden och i filtermaterialet sker kemiska processer såsom adsorption, absorption och utfällning. Ett exempel på detta är att fosfor binds kemiskt till vissa typer av ytskikt (Lindfors, et al., 2014).

Beroende på storlek och konstruktion kan en regnbädd reducera toppflöden med 80 % och den totala avrinningsvolymen med 30 % (Svenstrup, 2012).

4.1 Kemiska processer

Nedan följer en kort genomgång av kemiska processer som är viktiga för att förstå vad som händer vid rening av dagvatten.

4.1.1 Absorption

Absorption betyder att ett ämne sugs upp av ett annat (NoSSS, 2016). Denna process sker genom att kapillärkraften i ett givet material gör så att vätska stiger upp eller pressas ner i ett annat ämne (Nationalencyklopedin, 2016).

4.1.2 Adsorption

Adsorption innebär att ett fast material eller vätska drar till sig ett gasformigt ämne eller ett ämne löst i en vätska, dvs. att ett ämne fastnar på ytan. Detta sker antingen med hjälp av van der Waals- krafter vilken är en relativt svag kraft och i sådana fall behåller det inbindande ämnet sin form. Adsorption kan även ske med hjälp av kovalenta bindningar vilket är en starkare bindning och då den används behöver den inbindande molekylen ofta ändra form för att komma närmare ytan och på så vis göra bindningen starkare (NoSSS, 2016).

4.1.3 Katjonsutbyte

Med katjonsutbyte menar man att en jord kan vara mer eller mindre benägen att adsorbera kationer. Genom att jorden adsorberar ett visst ämne byts det ut mot ett annat ämne. Olika joner har olika benägenhet att hållas fast i jorden vilket medför att man kan styra vilka joner som ska bli kvar i jorden och vilka som ska lämna genom kännedom om ämnernas och jonernas egenskaper (Ashman & Puri, 2002).

4.1.4 Kemisk fällning

De små partiklar som finns i vattnet och man vill få bort därifrån är ofta negativt laddade och stöter därmed bort varandra. Genom att tillföra en positivt laddad koagulant binder de små partiklarna till koagulanten och en kemisk fällning uppstår (Britannica, 2016). Efter fällning kan det tidigare lösta ämnet enklare separeras eftersom det överförs till partikulärform.

4.2 Vilka filter renar för vilka föroreningar?

Viktiga egenskaper hos filtermaterialet som påverkar reningsprocessen är pH, halten ler- och organiskt material samt redoxpotential (Blecken, 2016).

I Tabell 4.1 nedan finns en sammanställning av biofiltrets reningseffekt. Värdena som presenteras är litteraturvärden baserade på årsmedelvärden för klimat liknande Sveriges (Lindfors, et al., 2014).

Tabell 4.1. Reningseffekten (%) i biofilter (Lindfors, et al., 2014).

| Ämne (%) | P | N | Pb | Cu | Zn | Cd | Cr | Ni | Hg | SS | Olja | PAH | BaP |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|-----|-----|
| Reningseffekt | 60 | 25 | 80 | 60 | 90 | 80 | 25 | 75 | 50 | 85 | 60 | 85 | 85 |

Växtbädden reducerar 50- 80 % av den totala mängden tungmetaller och av det står växterna för 2-7 % av upptaget (Fridell, 2015).

Olika filter har visat sig vara olika känsliga för yttre påverkan såsom regn- och torrperioder, temperatur, vägsalt, föroreningskoncentrationer, avrinningsförlpp samt valet av växter (Blecken, 2016).

Vid val av filtermaterial är det viktigt att först och främst fundera på vilken funktion man vill uppnå. Många regnbäddar byggs först och främst för fördröjning av dagvatten och en blommande växtbädd. För att uppnå en bra reningseffekt bör följande egenskaper tillgodoses: (Blecken, 2016)

- Tillräckligt låg infiltrationskapacitet för att säkerställa en tillräckligt lång kontakttid för effektiva reningsprocesser
- Tillräckligt hög infiltrationskapacitet för att minska bräddning
- Kemiska egenskaper som möjliggör reningsprocesser
- Fysikaliska/kemiska egenskaper som möjliggör växtliv

För de flesta föroreningar räcker ett biofilter som innehåller jord- och sandblandningar. Innehållet av organiskt material varierar mellan 0 och 30 % och vid tillsats av organiskt material måste man ha i åtanke att organiskt material bryts ner med tiden och då kan bidra med utsläpp av redan ackumulerade föroreningar (Blecken, 2016).

Om ytterligare rening av vattnet eftersträvas kan olika reaktiva filtermaterial tillsättas. Man har gjort undersökningar i Danmark där filter innehållande olivin och fossila ostronskal använts. Resultaten visar på minskade halter av metaller och närsalter. I Sverige har försök med furubarksflis visat sig ha en positiv inverkan på halter av koppar och zink. Hur effektivt adsorption och andra reducerande processer är beror bl.a. på kontakttiden mellan vattnet och materialet vilket kan maximeras genom att man dimensionerar och optimerar mot förväntade flöden (Blecken, 2016). Nedan finns en genomgång av ett antal vanliga filtermaterial och i kapitel 7 finns en sammanställning i tabellform över de olika materialen och vad de renar för.

4.2.1 Sand

Sand är ett vanligt filtermaterial och består främst av kvarts och fältspat (Bengtsson, 2003). Det kan användas som ett filter för att reducera föroreningar framförallt genom fysikaliska processer och partikelavskiljning. Det har använts under en lång tid för att rena dricks- och avloppsvatten och har visat sig vara en ekonomisk och effektiv reningsmetod, reningseffektiviteten bedöms vara relativt god (Färm, 2003).

Sandfilter är främst användbara för att reducera partikelbundna föroreningar och det är bland annat storleken på sandkornen som avgör hur små partiklar som kan avskiljas från dagvattnet. En mycket fin sand ger det renaste vattnet men tillåter endast ett mycket lågt flöde medan en grövre sand har större hålrum vilket ger en högre hydraulisk konduktivitet samtidigt som det släpper igenom mer löst material (Färm, 2003).

4.2.2 Rostjord

Rostjord är jord som är rik på aluminium och järn och har visat sig vara ett mycket effektivt filter för fosforreduktion. Det har även gjorts en del försök för att undersöka reduktionskapaciteten för metaller. Resultaten av testerna har dock varit väldigt varierande beroende på förbehandling av vattnet. Man tror ändå att metallreduktionen är relativt god för rostjord beroende på dess sammansättning och egenskaper (Färm, 2003).

4.2.3 Aktivt kol

Aktivt kol används i stor utsträckning som en sorbent inom industrin för att behandla dricksvatten och luft. Det har visat sig vara ett mycket effektivt material för att reducera halter av kadmium och zink. En form av aktivt kol som ofta används inom dagvattenhantering är biokol (Wiström, 2014).

4.2.4 Biokol

Biokol är ett fast material som framställs genom upphettning av organiskt material under syrefattiga förhållanden och används för att öka jordkvaliteten och behandla dagvatten (Wiström, 2014).

Under tillverkningsprocessen är temperaturen 400-800 °C, ju högre temperatur desto mindre biokolpartiklar. Storleken på biokolpartiklarna tros ha bäst verkan om de är 1 mm eller mindre, det är dock oklart hur stor roll storleken spelar. Däremot har det visat sig att användandet av biokol är som mest effektivt om porositeten är hög, detta då det skapar en större yta där jonbyte kan ske (Wiström, 2014). Ett problem vid tillverkningen av biokol är att kvaliteten skiljer sig mycket åt beroende på varierande kvalitet på det organiska materialet samt en osäkerhet om vilka förutsättningar under tillverkningsprocessen som ger bäst resultat (Wiström, 2014).

Biokolets förmåga att reducera zink beror på att det ökar katjonsbyteskapaciteten i jorden. Man har även sett att katjonbyteskapaciteten ökar med tiden i biokol. Genom jonbyte mellan jorden och en del toxiska metaller har man kunnat reducera metallhalten. Det har visat sig ha positiv effekt på framförallt zink och kadmium men tros även ha viss positiv inverkan på andra metaller (Wiström, 2014).

4.2.5 Zeolit

Zeolit är ett ämne som kan användas för en naturligt och kostnadseffektiv reduktion av metallföreningar. Dock finns relativt lite forskning gjord kring detta och vid studier har man

främst fokuserat på metallavskiljningseffekten och inte på hur det fungerar i praktiken att använda sig av zeolit (Färm, 2003).

Tester med modifierad zeolit har gjorts för att undersöka om det även kan användas som adsorbent av bakterier. Med modifierad menar man att man låter tungmetaller reagera med zeolit och sedan sköljer med avjoniserat vatten. Denna typ av zeolit har haft positiva effekter när det gäller att reducera bakterierna i dagvattnet (Milán, et al., 2001).

4.2.6 Opoka

Opoka är en bergart som framförallt består av SiO_2 , CaO , Al_2O_3 och Fe_2O_3 . Den har visat sig vara effektiv i att absorbera fosfor, kväve och tungmetaller. Filtrering av dagvatten genom polonit höjer pH-värdet på vattnet, polonit är ett material med ursprung ur opoka. (Ribé, et al., 2013).

Vid filtrering av dagvatten visade opoka och blandningar med opoka och zeolit inte tecken på mättnad efter en längre tids filtrering. Det framkom dock att problem med igensättning på grund av cementering kan uppstå (Färm, 2003).

4.2.7 Furubarksflis

Man kan använda barken från tallen *Pinus Sylvestris*, som en typ av filter. Barken processas tillsammans med cellulosa av ett svenskt företag Zugol AB för att bilda tallbarksmaterialet som består av 85-90% tallbark och 10-15% cellulosa. Materialet används traditionellt för att absorbera vätskor, t.ex. olja och bensin men har även visat sig vara framgångsrik i att reducera föroreningar i dagvatten. Filtrering av dagvatten med tallbark sänker pH-värdet på vattnet vilket gör det mer känsligt för föroreningar (Ribé, et al., 2013).

Sorptionsförmågan hos furubarksflis är ännu inte helt kartlagd (Färm, 2003), men det finns studier som tyder på att furubarksflis är effektivare än torv på att reducera bly, koppar och zink (Blom & Skogsfjord, 2006).

Med hänsyn till ekonomi och tillgänglighet är furubarksflis ett bra alternativ. Det är en restprodukt vars tillgänglighet i Sverige är mycket stor. Efter användandet kan den dessutom återanvändas på flera andra sätt, t.ex. som biobränsle (Färm, 2003).

4.2.8 Torv

Torv är ett billigt och lättillgängligt material som bildas genom nedbrytning av växtmaterial i en fuktig och syrefattig miljö, eftersom det är en syrefattig miljö så bryts dock inte växterna ner fullständigt. Torv användas för att reducera mängden tungmetaller och organiska föreningar och effektiviteten beror på hur förmultnad torven är. Vid syrefattiga förhållanden blir torven grövre än vid mer syrerika (Balbas & Miakhel, 2012). Grövre torv släpper igenom vatten fortare än finare torv. Således renar torven mer desto mer förmultnad den är, men desto mindre vatten släpps också igenom.

Vid studier som behandlar hur väl torv renar dagvatten som rinner av från motorvägar har det visat sig vara ett mycket effektivt filter. Det renar 95 % av PAH, 70 % av koppar och zink, 90 % för totala halten koppar och zink, 70 % för totala halterna av bly. Det har även visat lovande resultat för renet av TSS, totalt suspenderade fasta ämnen, (Fuerhacker, et al., 2011).

4.2.9 Membranfilter

Membranfilter renar vatten främst genom avskiljning av föroreningar beroende på storlek och inte genom sorption/reaktion. Det finns olika storlek av membranfilter med olika porstorlekar, mikrofilter, ultrafilter och nanofilter. Mikrofiltrets porer är 0,1-10 µm, ultrafiltrets 1-100 nm och nanofiltrets <1 nm (Blecken, 2016).

Vid studier av hur väl membranfilter renar dagvatten har man använt mikrofilter. Resultaten visar att membranfiltreringen är mycket effektiv för reducering av metaller. Dock behöver man komplettera med ytterligare filtrering bestående av aktivt kol för att reducera de organiska föroreningarna (Blecken, 2016).

4.2.10 Vegetationens inverkan på reningen

Vegetationen i regnbädden saktar ner vattnets hastighet och partiklar ges möjlighet att sedimentera till botten. Växterna minskar även risken för att sedimentet virvlar upp och sprids vidare vid höga flöden, s.k. resuspension (Fridell, 2015).

Växterna bidrar till att föroreningar separeras från vattnet samt att de kan påverka miljöfaktorer såsom pH och syremängd. En del växter avger även bakteriedödande ämnen och har därmed ytterligare positiv effekt på vattnets reningsprocess. Vegetationens blad minskar även inflödet av vatten till biofiltret då en del vatten fastnar på bladen, detta kallas interception (Fridell, 2015).

För en god rening med hjälp av växter är det fördelaktigt om rotsystemen är väl utvecklade. Det är bra om växterna som används har olika typer av rotsystem som finns på olika nivå i växtbädden då detta ökar kontaktytan mellan perkolerande vatten och rötterna (Lindfors, et al., 2014).

4.2.11 Variation med årstiderna

Det finns inte så många regnbäddar i Sverige och därför är det svårt att säga hur de varierar med avseende på infiltration och rening under vintern. Problemen ligger bland annat i bristande kunskap om vilka växtarter som klarar av svenska förhållanden. Ett annat frågetecken som kräver mer utredning är hur bra ett biofilter kan ta hand om vinterdagvatten som innehåller höga halter av vägsalt och lösta metaller (Lindfors, et al., 2014).

Under vinterhalvåret i kalla eller tempererade områden är föroreningshalterna extra höga på grund av användandet av vägsalter samt den minskade infiltrationskapaciteten när marken är frusen. Vägsalterna, som ofta används, bidrar även till att de flesta metallerna befinner sig i löst form och inte partikulär form vilket gör det svårare att rena vattnet. Vattenkvaliteten på smältvatten skiljer sig också från dagvatten som kommer med nederbörd. Det har endast gjorts en enda studie där man studerar dagvattenbiofiltrets reningsfunktion för smältvatten. Där visade sig vattnet dock renas väl med en metallreduktion på 89-99 %, även under vintern (Lindfors, et al., 2014).

Infiltrationskapaciteten för en regnbädd ligger generellt på 50-300 mm/h, men för biofilter i kalla klimat rekommenderas ännu högre kapacitet för att underlätta infiltrationen under vintern. Om filtret har för låg hydraulisk konduktivitet kan det leda till att vatten som finns kvar i porerna vintertid fryser och infiltrationsförmågan blir mycket låg och därigenom blir även reningsförmågan försämrade (Blecken, 2016). Ett sätt att öka infiltrationskapaciteten i biofiltret under vintern är att använda grövre material. Det minskar risken för att filtret är nära vattenmättat när det fryser. Om filtret är mättat när det fryser kan inget vatten passera ner genom

det. Om filtret däremot innehåller mycket luft kan vattnet perkolera även vintertid (Lindfors, et al., 2014).

Under vintern är reningseffektiviteten för metaller och TSS troligtvis liknande som under de andra årstiderna, dock försämras reningsförmågan av fosfor och kväve vid lägre temperaturer (Lindfors, et al., 2014) (Fridell, 2015). Vegetationen har även en positiv inverkan för en bättre miljö under vintrarna, detta då isen smälter fortare nära trädstammar och därmed kan en kanal för vatten, syra och koldioxid skapas. Detta är mycket viktigt för att växterna ska klara sig under vintern (Fridell, 2015).

4.2.12 Osäkerhet

När man jämför reningsgraden i olika studier uppstår en viss osäkerhet kring resultaten eftersom de ofta anges i procent. Man måste även ta hänsyn till föroreningskoncentrationen i det ingående vattnet. Om det ingående vattnet har en låg föroreningskoncentration kan reningsgraden av det utgående vattnet vara mycket låg trots att anläggningen fungerar bra. Föroreningsgraden i dagvatten varierar mycket med årstid och regnmängd, varför reningsgraden kan variera mycket trots att vattnet i utloppet har samma föroreningskoncentration (Blecken, 2016). Det är även viktigt när man studerar halter av förorening i inkommande vatten att ta hänsyn till vilken typ av område vattnet rinner av från. Man kan förvänta sig högre halter av föroreningar i tätbebyggda områden än från avrinningsytor som till största del består av vegetation eftersom den har en renande effekt (Alm, et al., 2010).

En annan viktig aspekt att ta hänsyn till då man jämför olika anläggningar är åldern på anläggningen. I en äldre regnbädd har växtligheten hunnit utvecklas och har större inverkan på reningsgraden än för en nyplanterad regnbädd. Man måste även ta hänsyn till hur underhållet sköts, förhållandet mellan anläggningens area jämfört med avrinningsområdets area samt vilket filtermaterial som använts och formen på dammen (Blecken, 2016).

Vid provtagning av vatten finns osäkerheter vid exempelvis provtagningstillfället då det saknas ett standardiserat tillvägagångssätt för provtagningar av dagvattenanläggningar. Detta gör att det blir svårt att veta om olika prover är jämförbara med varandra. Ett annat problem är att proverna behöver tas vid liknande regntillfällen för att få flödesproportionella prover, därtill tillkommer även osäkerheten kring hur analys och hantering av proverna i laboratoriet går till (Blecken, 2016).

4.2.13 Fördröjning

Om man vill öka regnbäddens förmåga att fördröja vatten kan den sänkas ner i förhållande till omgivande marknivå. Genom att göra så skapas en större fördröjningsvolym vilket bidrar till en utjämning av dagvattnet ovanför regnbäddens yta. Även porvolymen i jorden kan bidra med en viss fördröjning, då vattnet passerar olika snabbt beroende på hur luftig jorden är (Lindfors, et al., 2014).

Litteraturvärden på fördröjningseffekten, som medianvärde, vid användning av biofilter är 70-80% med avseende på det dimensionerade dagvattenflödet från området. Med fördröjningseffekt menas den effekt fördröjningen har på vattenflödet i området. (Lindfors, et al., 2014). Ett exempel på regnbäddens fördröjningsfunktion är att ett intensivt regn på 20 minuter kan fördröjas i uppemot 24 timmar. I ett annat test av biofilters fördröjningsfunktion i North Carolina, USA lämnade 3 % anläggningen genom avdunstning, 53 % genom dräneringsledningen och 32 % genom perkolation genom bädden (Fridell, 2015).

Biokol har visat sig öka kapaciteten för marken att hålla kvar och därmed också fördröja vatten. Studier har visat att om biokolhalten i jorden är 7 % ökar det förmågan att hålla vatten med 4.4 % (Wiström, 2014).

4.3 Rening av metaller

En fördel med användandet av biofilter är förmågan att rena dagvattnet från både partiklar och lösta föroreningar (Li & Davis, 2008).

Reduktionen av metaller med hjälp av biofilter är ofta 80-90 % och om metallerna är i partikelform eller bundna till TSS sker denna reduktion ofta med hjälp av mekanisk filtrering (Blecken, 2016). Vid en studie utförd i Helsingborg visade det sig att det är vanligast att det finns innehåll av zink och koppar i dagvattnet (Pirzadeh, et al., 2015).

Vid användning av ett simulerat regn innehållande föroreningar som zink, koppar och bly testades det hur bra ett biofilter renar för dessa ämnen. Biofiltret bestod av sandig lerjord som täcktes av 2,5 cm kompost. Man kunde se att nära 100 % av föroreningarna försvann vid rening under de flesta förhållandena. Man kunde dock märka ett något sämre resultat då en grund regnbädd användes. Dock kunde man inte se någon större förändring med varierat pH, regnintensitet, längd av regn och föroreningskoncentration. Två ytterligare fältstudier har också gjorts för att undersöka samma sak och resultaten av dem bekräftade tidigare försök (Davis, et al., 2003).

Enligt Muthanna et al. (2007) gör djupet på biobädden ingen skillnad om det är mer än 45 cm då det inte bidrar till en ökad metallreduktion (Muthanna, et al., 2008). Detta stärktes ytterligare av ett test där man använde två filter med olika djup. Filternas djup i testet var 61 cm respektive 91 cm, alltså var båda djupare än 50, och koncentrationen i botten visade sig vara identisk för båda filterna (Davis, et al., 2003).

Rening av lösta metaller varierar relativt mycket beroende på växelverkan mellan filtermaterial och metaller. De främsta reningsmetoderna för lösta metaller är adsorption, utfällning och fixering (Blecken, 2016). Den största delen av de partikulärt bundna metallerna reduceras genom fysisk filtrering medan de lösta metallerna främst reduceras med hjälp av adsorption (Wang, et al., 2016). Fixeringen av metallerna sker främst till filter innehållande lermineral (Blecken, 2016).

Fältstudier för reduktionseffektiviteten av lösta metaller har visat en relativt god rening av löst zink (70 %), dock har läckage av koppar och bly observerats. Liknande studier har även visat reduktionen av koppar och bly på 24-66 % vilket kan jämföras med den högre reduktionen av zink och kadmium på 99 %. Det visade sig även att med en ökad temperatur minskade reduktionen av koppar och bly ytterligare. Liknande resultat har uppnåtts vid andra försök och slutsatsen man dragit är att reduktionen av zink och kadmium generellt är god och över 90 % (Blecken, 2016). För koppar och bly varierar det mer med en generellt sämre reduktion, samt försämrade värden vid högre temperaturer. Variationen på det utgående vattnets halter gällande koppar och zink varierar mellan en negativ reningseffekt på -1345% till 71 % (Blecken, 2016).

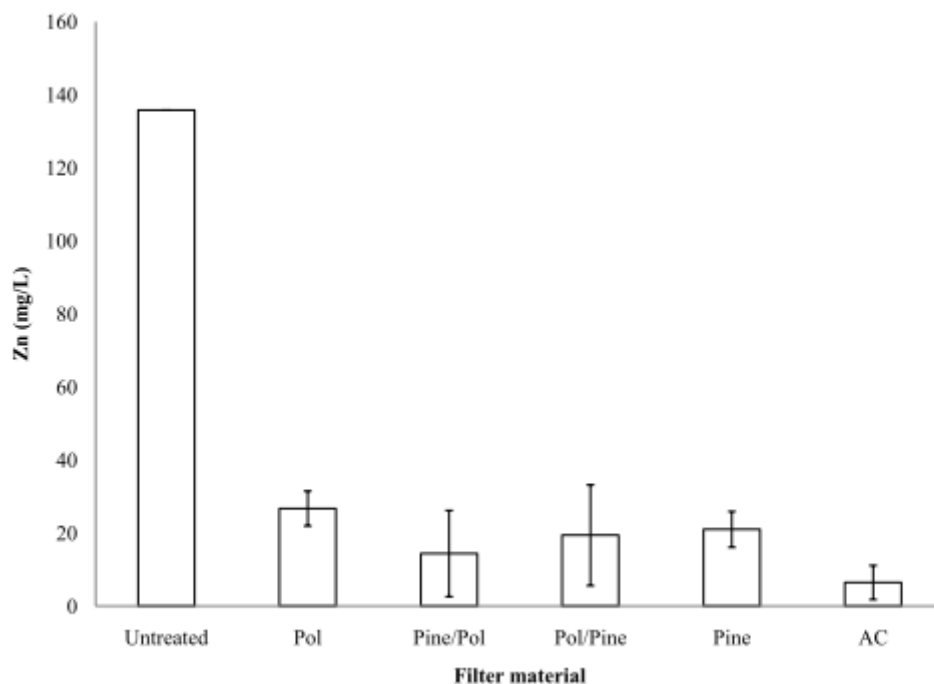
Ett problem med tungmetallerna i naturen är att de kan bindas till olika ämnen men de kan inte brytas ner och kommer därför finnas kvar i ekosystemet i någon form. Hur giftiga de är beror bland annat på pH, syrehalt och alkalinitet (Sylvén, 2004).

4.3.1 Zink

I städer kommer zink med dagvattnet genom ytavrinning från bl.a. tak. Zink är ett vanligt takmaterial och används exempelvis i ca 40 % av alla tak i Paris. Vid tillverkning av zinktack tillsätts även en liten andel kadmium, ca 0.5%. Korrosionen av zinktack drivs av många olika faktorer bl.a. luftfukighet, hur sur nederbörden är och även hur ofta ett nederbördstillfälle inträffar. Den största drivkraften för korrosion av zink är dock sulfat, SO_2 , vilket skapar zinksulfid som är lösligt i vatten. Vid ett regn kan sedan zinksulfat föras med regnet ner på gatan och vidare mot recipienten (Wiström, 2014).

För att rena dagvattnet från zink kan man använda sig av biokol som jordförbättrande substrat i regnbädden. Detta gäller då dagvattnet inte tas upp i kombinerade spillvattensystem. I det fallet förs vattnet direkt mot reningsverk och renas där (Wiström, 2014).

I figur 4.1 syns ett diagram som visar hur väl olika filtermaterial renar för zinkföreningar i dagvatten. Det material som visar bäst resultat är aktivt kol och därefter tallbark. Alla material som använts höjer pH-värdet på vattnet. Även om tallbark generellt sägs sänka pH-värdet så har det vid tester inte visat sig ha någon påverkan på toxiciteten på vattnet (Ribé, et al., 2013).



Figur 4.1 Koncentrationen zink för in och utgående vatten för olika filtertyper (Ribé, et al., 2013). Pol= Polonit vilket är en produkt som härstammar från Opoka, Pine= tallbark och AC= aktivt kol. Publicerad med tillåtelse av Emma Nerenheim.

4.3.2 Koppars

Koppars är vanligt främst på äldre byggnader och inverkar negativt på miljön om man inte renar dagvattnet som löst upp metallen och bidragit till att koppars oxiderar (Mangold, et al., 2014). Höga kopparshalter är också vanliga vid hårt trafikerade vägar då det finns i bilarnas bromsbelägg (Pirzadeh, et al., 2015).

Människan är inte särskilt känslig för koppar i vatten dock finns det mikroorganismer ute i naturen som är extremt känsliga. Skadligast för mikroorganismerna är det när kopparpartiklarna är i storleksordning 100-1000 μm och när koppar löses i regnvatten är ungefär 85% av partiklarna i denna storlek (Mangold, et al., 2014).

Det finns de som menar att kopparkoppar inte medför någon miljöfara med motivationen att det mesta av kopparkoppar binds i marken av organiskt material och därför inte når ut till recipienten. Åsikterna går isär men man kan hur som helst relativt enkelt rena vattnet från koppar (Mangold, et al., 2014).

Vid rening av koppar använder man sig av ett filter vars material anpassas beroende på om kopparkoppar kommer från tak eller biltrafik. Detta måste man ta hänsyn till eftersom de olika källorna medför att andra föroreningar förutom kopparkoppar skiljs åt. Filtret renar ungefär 50 % och resterande 50 % renas med hjälp av filtrering genom sandfilter (Mangold, et al., 2014).

4.3.3 Kadmium

Kadmium är en giftig tungmetall som, om marken är förorenad, tas upp av växter. Därigenom kommer kadmium genom matkedjan in i människans kropp och kan orsaka akuta och kroniska sjukdomar (Wang, et al., 2016).

Partikelbundet kadmium har visat sig ha en bra reningsgrad med runt 90 % medan reduceringen av löst kadmium har varit sämre. Därför läggs stor kraft på att hitta reningsalternativ för löst kadmium. En studie av reningseffektiviteten har gjorts med fyra olika material; sand, fin sand, zeolit och kvartz. Kvartz var det material som visade på högst reducering av kadmium med 98 %, men även de övriga tre materialen visade på god reningsförmåga där alla renade >90 % (Wang, et al., 2016).

4.3.4 Bly

Bly tillhör de vanligaste tungmetallerna och finns ofta löst i dagvatten (Sylvén, 2004). Om människor utsätts för bly kan det ge skador på nervsystemet, högt blodtryck och ökad förekomst av hjärt- och kärlsjukdomar (Blom & Skogsfjord, 2006).

Bly är ofta mycket starkt bundet till humuspartiklar och lermineraller (Blom & Skogsfjord, 2006). Bly kommer från början från bensindrivna bilar. Dock ser man en minskande trend av bly i dagvatten och det beror troligen till stor del på den blyfria bensinens intåg (Sylvén, 2004).

4.4 Rening av näringsämnen

Att använda biofilter för att rena dagvatten från näringsämnen har visat sig vara svårt om man önskar uppnå en stabil rening. Vid studier har man kunnat observera både en mycket effektiv rening av kväve och fosfor men man har också observerat höga koncentrationer av samma ämnen i utläckaget. Alltså är reningseffektiviteten här mycket varierande. Dock beror variationen för de olika ämnena på olika saker (Blecken, 2016). Generellt kan sägas att biofilter uppvisar god rening av dagvatten från fosfor. Det är dock svårare att rena från kväve. Detta då denitrifikation kräver att det är syrefritt och att nitrifikation är svårt att uppnå. Det kan till viss del avhjälpas genom att installera ett vattenlås och på så sätt skapa syrefria förhållanden i delar av biofiltret varvid denitrifikation kan fortgå (Lindfors, et al., 2014).

4.4.1 Fosfor

Det är viktigt att rena dagvatten från fosfor eftersom det tillsammans med kväve utgör den främsta källan till övergödning (Davis & Li, 2016). I dagvatten finns fosfor till störst del som partikelbundet fosfor. Reduktionen av denna del görs effektivt med mekanisk filtrering genom filtret. För löst fosfor sker reduceringen istället genom sorption i filtermaterialet. I flera studier har det visats vara ett utläckage av fosfor och detta beror sannolikt på läckage av finpartikulärt material som innehåller bundet fosfor. Detta har visat sig vara ett extra stort problem med nya filter men minskar med åldern på grund av sättning av filtermaterial samt att den finpartikulära fraktionen tvättas ur. Man bör därför undvika filtermedia med hög fosforhalt samt en stor fraktion finsediment (Blecken, 2016).

Förutom den direkta spridningen av fosforföreningar förekommer spridning även genom erosion av sediment som innehåller fosfor. Även här har regnbäddar en positiv inverkan då de förutom att de renar vatten även reducerar erosionsrisken i avrinningsområden (Blecken, 2016)

4.4.2 Kväve

Kväveläckage från biofilter observeras relativt ofta. För kväve beror reningseffektiviteten på vilken form av kväve det gäller och flertalet studier har visat på en god reningseffekt på ammoniumkväve och Kjeldahlkväve. Nitrat och nitritkväve har ofta visat sig ha en otillräcklig reduktion i biofilter och är det som i huvudsak är anledningen till kväveläckagen (Blecken, 2016).

Kjeldahlkväve är summan av organiskt kväve och ammoniumkväve (Finlex, 2006). Ammoniumkväve (NH_4^+) absorberas och binds till lera och humus i marken vilket gör att det rör sig sakta i marken. Det omvandlas med hjälp av bakterier i marken till nitrat (NO_3^-) via nitrifikation. Ammoniumkväve kan även avdunsta till atmosfären i form av ammoniak vid tillförsel av stallgödsel (Yara, 2016).

För att förbättra reduktionen av kväve och möjliggöra denitrifikation i biofilter kan en vattenmättad zon läggas till, se sektion 3.2.5, ofta kombinerat med en kolkälla. Kolkällan som adderas kan bestå av exempelvis tidningspapper, halm eller spån. Den vattenmättade zonen som skapas i botten på filtret skapas genom att höja nivån för utloppet och ett rekommenderat djup på 450-600 mm för den vattenmättade zonen. När biofiltret har använts en tid bidrar nedbrytning av växter med tillräckligt kol för att inte behöva tillsätta ytterligare kol till en äldre regnbädd (Blecken, 2016).

4.5 Rening av kolväten

Kolväten är kemikalier som enbart består av kol och väte vilka när de bryts ner bildar koldioxid och vatten. De finns naturligt i naturgas och olja och är därmed ett relativt billigt och lättillgängligt ämne. Det finns flera olika processer för att omvandla dem till andra kolväten (Ellervik & Sterner, 2004).

Nedbrytning av kolväten för att bilda koldioxid och vatten kan göras med hjälp av olika organismer som lever i filtermaterialet. Ett alternativ för att få bort olja från dagvattnet är att sätta in en oljeavskiljare vilket är vanligt vid exempelvis parkeringsplatser. I en oljeavskiljare separeras olja och vatten, den finns dock ytterligare positiva egenskaper då det även blir en försedimentation av vattnet då det går igenom oljeavskiljaren, dock bryts oljan inte ner utan separeras endast från vattnet (Ekman, 2014).

4.5.1 Olja

Olja är en av de vanligaste föroreningarna i urbant dagvatten och innehåller petroleumkolväten, olja och fett. Till dagvattnet kommer det framförallt från trafik, läckage från fordon, trafikolyckor och oljeutsläpp (Ekman, 2014).

4.5.2 PAH

PAH står för polycykliska aromatiska kolväten och är uppbyggda av två eller fler bensenringar. Karakteristiskt för dem är att de ofta luktar mycket och det är också därifrån de har fått sitt namn, *aromatiska* (Ellervik & Sterner, 2004). De är hydrofoba och starkt partikelbundna och bryts ner av solljus och av organismer (Ekman, 2014).

PAH finns ofta i höga halter i dagvatten och kommer från olja, motortrafik, övrig förbränning och slitage av asfalt och däck och är därmed också en vanlig förorening i städer p.g.a. bilism (Pirzadeh, et al., 2015), (Ekman, 2014).

Naftalen

Naftalen räknas ibland till PAH-föroreningarna och används inom viss industri men sprids även via luftutsläpp vid ofullständig förbränning. Det används bl.a. i färgämnen, plaster och lösningsmedel men även i viss mån som bekämpningsmedel mot insekter. Det är ett miljö- och hälsofarligt ämne som kan verka cancerframkallande. Det är mycket giftigt för vattenorganismer och kan ge skadliga långtidseffekter på vattenmiljön (Naturvårdsverket, 2009).

Studier har visat en reningsgrad på 93% för naftalen på växtbevuxna biofilter medan den för filter utan vegetation endast uppgick till 78 %. Reningsmekanismerna här var till största del adsorption men även mineralisering och växtupptag (Blecken, 2016).

4.6 Rening av övriga ämnen

Undersökning av föroreningar som inte går under metaller, näringsämnen eller kolväten har endast gjorts ett fåtal gånger och det är därför svårt att dra generella slutsatser. De studier som har gjorts visar dock på en generell minskning av patogener i dagvatten som behandlats i biofilter. Långa torkperioder har visat sig minska reningsgraden medan en vattenmättad zon ökar densamma (Blecken, 2016).

För att kunna möta de krav som ställs på dagvattenrening av patogener kan man använda biofilter som består av sand med en järnytbeläggning, zeolit med en kopparytbeläggning och biokol. Även växtlighet har visat sig ha en renande effekt av patogener (Blecken, 2016).

För rening av växtskyddsmedel med hjälp av biofilter har endast ett fåtal studier gjorts. Dessa uppvisar dock en bra reningspotential på över 80 % för glyfosat. För triaziner var reningspotentialen dock lägre, runt 35 %. Ämnen innehållande triaziner är dock förbjudna i Sverige (Blecken, 2016).

4.7 Hållbarhet och livslängd av filter

De metaller som finns i dagvattnet fastnar genom mekanisk filtrering och sorption vanligtvis på ytan av biofiltret vilket leder till minskad hydraulisk konduktivitet, vilket i sin tur kan leda till igensättning av filtret. Igensättning kan avhjälpas genom att man skrapar av översta skiktet av biofiltret vilket innehåller de flesta metallerna. Detta kan göra att filtret blir användbart en längre tid innan det behöver bytas ut (Blecken, 2016).

Vid val av filtermaterial är de intressanta parametrarna kostnad och tillgänglighet för materialet, mängden toxiska föreningar det innehåller samt vad man gör med materialet efter användning, d.v.s kan det återanvändas eller ska det deponeras?

Organiskt material kan man bränna som biobränsle efter användning, alternativt kompostera. För övrigt material krävs dock vidare forskning för att komma fram till hur man ska ta hand om dem (Färm, 2003).

Ur ett hållbarhetsperspektiv är biokol ett mycket bra substrat att använda då det har en mycket lång livslängd i marken, 100 – 5000 år (Wiström, 2014). Annars kan man mycket grovt uppskatta att tiden tills ett filter är mättat, d.v.s. behöver bytas ut, är ungefär ett år (Färm, 2003).

För samtliga filtermaterial som nämnts ovan, kapitel 4.2, finns behov av ytterligare kunskap med avseende på livslängd, dimensionering av filtersystemet, förbehandlig av det förorenade vattnet samt underhåll (Färm, 2003).

4.8 Kostnad för att anlägga en regnbädd

Anläggningskostanden för en regnbädd beror till stor del på förhållandena på platsen (Lindfors, et al., 2014). I Tabell 4.2 visas en uppskattning av kostnad och nyttoeffekt. Uppskattningen är baserad på två fallstudier av befintliga regnbäddar i Tyresö i Sverige. De två fallstudierna är gjorda på Öringevägen och Åkervägen i Tyresö. Tabellen visar den relativa kostnaden i förhållande till hur mycket av varje ämne som renats.

Tabell 4.2 Relativ kostand för två regnbäddar i Sverige, ($k=1000$) (Lindfors, et al., 2014).

| Ämne | Öringevägen | Åkervägen | Enhet |
|------|-------------|------------|-------|
| P | 6800 | 970 | kk/kg |
| N | 600 | 170 | kk/kg |
| Pb | 180 000 | 15 000 | kk/kg |
| Cu | 32 000 | 7 400 | kk/kg |
| Zn | 15 000 | 1 600 | kk/kg |
| Cd | 2 600 000 | 320 000 | kk/kg |
| Cr | 100 000 | 41 000 | kk/kg |
| Ni | 240 000 | 32 000 | kk/kg |
| Hg | 15 000 000 | 15 000 000 | kk/kg |
| SS | 10 | 2.9 | kk/kg |
| Olja | 830 | 340 | kk/kg |
| PAH | 4 400 000 | 250 000 | kk/kg |
| Bap | 63 000 000 | 2 900 000 | kk/kg |

Med hjälp av tabell 4.2 kan man också göra en viss uppskattning av vilka ämnen som är vanligt förekommande i höga halter i dagvatten. Exempelvis är kvicksilver, Hg, en metall som endast finns i små mängder vilket man kan se då kostnaden per renat kilo kvicksilver är väldigt hög. Jämför man det med exempelvis kostnaden för rening av suspenderade fasta ämnen som är mycket låg kan det tolkas som att det dels finns mycket SS i dagvatten men också som att regnbädden renar effektivt för detta.

Kostanden beror på vilka material, storlek och utrustning som används och den totala kostnaden kan vara svår att uppskatta från tabell 4.2. Den kan snarare användas för att jämföra regnbäddar med andra dagvattenanläggningar för att göra en uppskattning om kostnadseffektivitet. Dock är även detta svårt då reningseffektiviteten till stor del även beror på hur förorenat vatten är när det når regnbädden samt hur rik nederbörden är och har varit i anslutning till mättilfället.

Kostnaderna för att anlägga en regnbädd varierar mycket och beror bl.a. på utformning, växtval, filtermaterial samt typ av anläggning (Giovich, 2016). Det finns exempel från Kviberg utanför Göteborg där har anlagt en regnbädd och kostnaden för denna var 2500-3000 kronor per kvadratmeter, vilket inkluderade alla omkostnader såsom material, dränering och arbete. Kostnaderna för underhåll av en regnbädd är ungefär desamma som för andra grönytor och

rabatter eftersom rutinerna är liknande vanlig skötsel av denna typ av områden (Klimatanpassningsportalen, 2015). Andra prisuppgifter är ca 4000 kr per kvadratmeter för en tät konstruktion i stadsmiljö vid anläggandet, varefter tillkommer kostnader för skötsel (Giovich, 2016).

5 Tillåtna halter och gränsvärden

Vilka ämnen som ska/ bör prioriteras vid rening av dagvatten framgår av EU:s ramdirektiv artikel 16.2 (2013/39/EU). Det finns en förenklad riskbaserad analysmetod för hur man väljer vilka ämnen som ska prioriteras. Den går ut på att man studerar varje ämnes akvatiska toxicitet, humantoxicitet via vatten, utbredning, produktions- och användningsmängd samt användningsmönster (Naturvårdsverket, 2008). Enligt Blecken (2016) är metall- och närsaltsföreningar föroreningar som ofta prioriteras att filtrera bort.

5.1 EU:s ramdirektiv för vatten

EU har skapat ett ramdirektiv, vattendirektivet, för att skydda samtliga vattenkällor i Europa. Detta innefattar inlandsvatten, kustvatten, grundvatten samt övergången mellan dessa (Söderberg, 2011). Direktivet antogs år 2000 och målet med det var att samtliga länder i EU skulle uppnå en god vattenstatus före år 2015 (Svenstrup, 2012) samt att vattnets status inte skulle försämrats (Augustsson, et al., 2015). En speciell punkt i vattendirektivet anger att man vill hindra föroreningsspridning samt upphöra med utsläpp av prioriterade ämnen (Alm, et al., 2010).

EU-kommisionen har tillsammans med sakkunniga samt en kombination av övervakning och modeller tagit fram en lista över 33 ämnen som bör prioriteras inom vattenrening (Naturvårdsverket, 2008). I listan finns det 11 ämnen som har klassificerats som mycket riskfyllda och de har därför definierats som prioriterat farliga ämnen. Dessa kännetecknas av att vara toxiska, persistenta, ha en benägenhet att bioackumulera, ge upphov till endokrina (hormonella) störningar eller vara tungmetaller som har liknande egenskaper (Alm & Åström, 2014). Listan håller på att utökas och en lista på totalt 170 ämnen är under utredning. Målet är att utsläpp och spill av ämnen stegvis ska upphöra inom 20 år efter att listan antagits. Det slutliga målet är att koncentrationerna av dessa ämnen i vattenmiljöerna ska ligga nära de naturliga nivåerna (Naturvårdsverket, 2008).

Ramdirektivet har blivit en del av svensk lagstiftning då det har medfört ändringar i miljöbalken i kap. 5 som handlar om miljökvalitetsnormer och åtgärdsprogram. Man har även infört en förordning om förvaltningen av kvaliteten på vattenmiljön, vattenförvaltningsförordningen, VVF, samt en förordning med länsstyrelseinstruktioner. Dessutom har Naturvårdsverket och Sveriges geologiska undersökning arbetat fram föreskrifter om karaktärisering och fastställande av miljökvalitetsnormer för yt- och grundvatten. Grundläggande för samtliga lagar och förordningar är att kvaliteten på vattenförekomsterna under inga omständigheter får försämrats, kallat *principen om icke-försämring* (Söderberg, 2011).

För att att driva igenom ramdirektivitet i praktiken i svensk lag har det bildats fem vattendistrikt: Bottenviken, Bottenhavet, Norra Östersjön, Södra Östersjön och Västerhavet (Svenstrup, 2012). Uppföljning av distriktens arbete på regional nivå görs av länsstyrelsen som även ska arbeta fram åtgärdsprogram och förvaltningsplaner för att vattendirektivet ska uppnås (Söderberg, 2011). På lokal nivå är det kommunerna och myndigheter som beslutar om vatten- och markanvändning (Svenstrup, 2012).

Målet med direktivet är att uppnå god vattenstatus. Det ställs dock inga krav på att allt vatten ska vara av god status innan 2015, däremot på att man aktivt arbetar för att uppnå målen och att det finns ett åtgärdsprogram framtaget (Svenstrup, 2012).

Vattenstatusen bedöms utifrån vattnets kemiska och ekologiska status. Detta innebär att vatten ska vara fritt från förorenande ämnen samt att flöden, vattendjup, strand och vattendragets sträckning ska vara så nära naturliga förhållanden som möjligt (Svenstrup, 2012).

5.1.1 Prioriterade ämnen

Definitionen av prioriterade ämnen enligt vattendirektivet är ”ämnen vilka innebär en betydande risk för vattenmiljön eller via denna kan utgöra en sådan risk” (Andersson, et al., 2012).

I ramdirektivet finns 33 ämnen som EU har satt gränsvärden för, det kallas även miljö kvalitetsnormer eller klassgränser. För de allra flesta ämnen finns det både ett årsmedelvärde samt ett värde för maximal tillåten koncentration. Dessa värden gäller dock för vatten i vattendrag och kan därför inte direkt appliceras på dagvatten (RentDagvatten, 2016). I tabell 5.1 finns en sammanställning av de prioriterade ämnena.

Ett problem i Sverige jämfört med andra länder i EU, t.ex. Tyskland, är att det inte finns några helt tydliga riktlinjer för hur mycket koppar som är tillåtet att släppa ut (Mangold, et al., 2014). Överlag är riktlinjerna för föroreningshalter i dagvatten begränsade i Sverige (Augustsson, et al., 2015).

Ett annat problem är att halterna i EU direktivet endast tar hänsyn till lösta halter medan man vid dagvattenprover tar hänsyn till både lösta och partikelbundna halter. Hur stor andel av ett ämne som är bundet eller löst varierar beroende på ämne, samt på vattnets väg till recipienten (Augustsson, et al., 2015).

Tabell 5.1 Sammanställning över 33 prioriterade ämnen från EU:s ramdirektiv (StormTac, 2016). Namnen i fet stil är ämnen som Naturvårdsverket anser intressanta för miljöövervakning i Sverige nationellt/ regionalt.

| | | |
|-------------------------------------|---|--|
| Alaklor | Antracen | Atrazin |
| Bensen | Bromerade difenyletrar | Kadmium och kadmiumföreningar, Koltetraklorid |
| Kloralkener | Klorpyrifos | Cyklodiena bekämpningsmedel, DDT |
| 1,2-diklor-etan | Diklormetan | Di(2-etylhexyl)ftalat (DEHP) |
| Diuron | Endosulfan | Flouranten |
| Hexaklorbensen | Hexaklorbutadien | Hexaklorcyklohexan |
| Isoproturon | Bly och blyföreningar | Kvicksilver och kvicksilverföreningar |
| Naftalen | Nickel och nickelföreningar | Nonylfenol |
| Oktylfenol | Pentaklorbensen | Pentaklorfenol |
| Polyromatiska kolväten (PAH) | Simazin, tetrakloretylen, trikloretylen | Tributyltennföreningar |
| Triklorbensen | Triklormetan | Trifluralin |

5.2 Verkliga och tillåtna halter

För att få en uppfattning av halterna av föroreningar i dagvatten behövs många, flödesproportionella mätningar genomföras. Detta är kostsamma utredningar men viktiga då man sedan kan använda dem för att fastställa vidare arbete gällande reningen av dagvattnet.

5.2.1 NOS-projektet

Fem kommuner i norra Stockholm har deltagit i NOS-projektet som är ett projekt som pågått under 2006-2010. De fem olika kommunerna är Upplands Bro, Upplands Väsby, Sigtuna, Sollentuna och Täby och de kunde göra denna utvärdering tack vare bidrag från Region- och trafikplanekontoret. Samtliga kommuner som deltagit i detta projekt har arbetat aktivt sedan slutet på 1990-talet för att minska föroreningspåverkan på Mälaren och Saltsjön. Syftet med projektet har varit att öka kunskapen om verkliga föroreningsmängder i dagvatten, funktionen av dagvattenanläggningar samt utvärdera metodik för olika dagvattendammar. Ett ytterligare syfte med projektet har varit att öka kunskap och förståelse för hur dagvattenarbetet kan bedrivas inom och mellan kommuner (Andersson, et al., 2012).

Under ca. två års tid har flödesproportionell provtagning genomförts i fem dagvattendammar på både in- och utlopp. Samtliga prover har analyserats för att undersöka halterna av fosfor, kväve, suspenderat material, klorid, organiska ämnen samt ett antal tungmetaller (Andersson, et al., 2012).

Mängderna av suspenderat material, näringsämnen och tungmetaller som kommer med inkommande respektive utgående vatten kan beräknas med hjälp av ekvation 1 nedan.

$$M_{in/out} = C_{in/out} * Q_{in/out} / 1000 \quad (1)$$

där

$M_{in/out}$ = inkommande mängd (g/14 dgr)

$C_{in/out}$ = inkommande koncentration (mg/l)

$Q_{in/out}$ = inkommande flöde (m³/14 dgr)

När man har beräknat ingående respektive utgående mängd kan reduktionsförmågan per kvadratmeter beräknas för bädden med hjälp av ekvation 2.

$$R = (M_{in} - M_{out}) / A \quad (2)$$

där

R = reduktion (kg/(ha*14 dgr) eller kg/(ha*år))

$M_{in/out}$ = inkommande mängd (kg/14 dgr eller kg/år)

A = dammyta (ha)

Med hjälp av ovanstående ekvationer samt flödesmätningar kunde man beräkna mängden av olika föroreningar i inkommande vatten. Medelhalterna för suspenderat material, näringsämnen och tungmetaller på inkommande vatten finns sammanställda i tabell 5.2 på nästa sida (Andersson, et al., 2012).

Tabell 5.2 Medelhalter av uppmätta koncentrationer på inkommande vatten i NOS-projektet (Andersson, et al., 2012).

| | Enhet | Uppmätt medelvärde på inflödeskoncentration | Tillåtna värden enligt ramdirektivet |
|----------------------|-------|---|--------------------------------------|
| Suspenderat material | mg/l | 20-112 | - |
| Fosfor | µg/l | 60- 240 | - |
| Kväve | mg/l | 1.3- 3.5 | - |
| Bly | µg/l | 1.3- 6.4 | <7.2 |
| Kadmium | µg/l | 0.07-0.1 | 0.08- 0.25 |
| Koppar | µg/l | 6.2- 24 | 4 |
| Krom | µg/l | 1.9- 7.0 | 3 |
| Nickel | µg/l | 2.4- 7.0 | 20 |
| Zink | µg/l | 20-116 | 8 |
| PAH | µg/l | - | - |

Anledningen att de tillåtna värdena för kadmium varierar är att de är beroende av hårdhetsklass. PAH går inte att ange något värde för i denna undersökning eftersom de endast kunde upptäckas i vart femte prov och då i väldigt låga koncentrationer (Andersson, et al., 2012).

I tabell 5.3 finns medelvärden från Storm Tac för standardkoncentration på inkommande dagvatten. Storm Tac är en modell med en tillhörande stor databas över olika regntillfällen som kan användas för att beräkna flera olika parametrar, såsom avrinning, föroreningstransport och flöde, i en enda modell. För att använda den behövs data för landutnyttjande. Man kan dock även lägga in egna parametrar för bl.a. nederbörd och intensitet om man önskar. Annars beräknas parametrarna utifrån en databas med insamlade mätvärden som finns i modellen (StormTac, 2016)

Tabell 5.3 Medelvärden från Storm Tac i centrummiljö (StormTac, 2016).

| | Enhet | Standardkoncentration på inkommande dagvatten enligt Storm Tac |
|----------------------|-------|--|
| Suspenderat material | mg/l | 100 |
| Fosfor | µg/l | 280 |
| Kväve | mg/l | 1.85 |
| Bly | µg/l | 20 |
| Kadmium | µg/l | 1 |
| Koppar | µg/l | 22 |
| Krom | µg/l | 5 |
| Nickel | µg/l | 8.5 |
| Zink | µg/l | 140 |
| PAH | µg/l | 0.6 |

Värden i tabell 5.2, kan tillsammans med värdena från Storm Tac:s mätningar, tabell 5.3, användas som en grund för att avgöra vilka ämnen man bör fokusera på i första hand. Dessa kan vidare jämföras med mätresultaten i NOS-projektet samt hur de förhåller sig till gränsvärdena i EU:s ramdirektiv.

Halterna av föroreningar kan jämföras med de föreslagna riktvärdena för dagvatten, se tabell 5.4 som tagits fram under 2008 av ett antal kommuner, VA-huvudmän och konsulter. Riktvärden gäller för dagvatten som släpps ut direkt i recipienten (Alm, et al., 2010).

Tabell 5.4 Riktvärden för dagvatten (Alm, et al., 2010).

| Ämne | Enhet | Riktvärde |
|----------------------|-------|-----------|
| Fosfor | µg/l | 160 |
| Kväve | mg/l | 2.0 |
| Bly | µg/l | 8 |
| Koppar | µg/l | 18 |
| Zink | µg/l | 75 |
| Kadmium | µg/l | 0.40 |
| Krom | µg/l | 10 |
| Nickel | µg/l | 15 |
| Suspenderat material | mg/l | 40 |
| Olja | mg/l | 0.40 |

Genom att jämföra tabell 5.2, 5.3 och 5.4 kan man se vilka ämnen det generellt finns behov att rena dagvatten från innan det når recipienten. Denna jämförelse finns att läsa i kapitel 8.3.

6 Dagvattenplanering i Sverige

I Sverige är de viktigaste lagarna, med hänsyn till dagvattenhantering plan- och bygglagen, PBL, och miljöbalken. Enligt PBL ska det fastställas riktlinjer och regler för hur dagvattenhanteringen ska lösas i området (Stahre, 2007). I detaljplanerna regleras användningen av mark samt krav på dagvattenhantering. Dessa krav följs sedan upp i byggloven (NSVA, 2015). I miljöbalken finns flera paragrafer som behandlar vatten- och miljö kvalitet (Stahre, 2007) och miljöbalken kan i princip tolkas som att alla medborgare har ett ansvar att ta hand om och bevara miljön (NSVA, 2016).

Lagen om allmänna vattentjänster samt kommunernas egna Allmänna Bestämmelser för Vatten och Avlopp, ABVA, tar inte upp dagvattenhanteringen specifikt. Det står däremot i Lagen om Allmänna Vattentjänster att kommunerna får lov att ta ut avgift för att omhänderta dagvatten inom verksamhetsområden för dagvatten. Varje kommun ska ta fram en strategi för dagvattenhanteringen och vilka krav som ställs på dem (Stahre, 2007). Kommunerna har inte ensamt ansvar för dagvattenhanteringen utan det är i vissa fall delat mellan enskilda och allmänna aktörer. Det finns dock en viss otydlighet om när vem ska betala vad, vilket försvårar planeringen av utbyggnad. Det pågår ett antal rättsfall som när de är utredda troligtvis kommer att förtydliga detta. Idag gör kommuner ofta upp en egen handlingsplan för hur de ska förhålla sig till lagen i väntan på domsluten (Alm & Åström, 2014).

Vattenmyndigheterna i Sverige är ansvariga för att samordna och organisera arbetet inom olika avrinningsområdena i Sverige. I sina åtgärdsprogram ska kommunerna (Andersson, et al., 2013):

- Prioritera de områden som inte uppnår eller riskerar att inte uppnå god ekologisk och kemisk status
- Ställa skydds krav på enskilda avlopp om de annars medför att vattnet inte uppnår god ekologisk och kemisk status
- Inrätta vattenskyddsområden som behövs för att vidhålla en god kvantitativ och kemisk status på dricksvatten
- Kontrollera att vattentäkter som försörjer fler än 50 personer, alternativt tar ut mer vatten än 10 m³/dag håller god kvantitativ och kemisk status samt att det finns långsiktiga skydd för vattentakten
- Utveckla en plan för miljö kvalitetsnormerna så att de uppnås och inte överträds
- I samarbete med länsstyrelsen utveckla vatten- och avloppsvattenplaner speciellt för områden som inte/ riskerar att inte nå upp till kraven på god ekologisk, kemisk och kvantitativ status.

6.1 Lokalt arbete

Nedan följer en genomgång av hur NSVA, VA SYD och Stockholm vatten AB arbetar med dagvattenfrågan lokalt. I kapitel 7 finns en kort sammanställning i tabellform av bolagens arbete idag och framtida planer.

6.1.1 NSVA

NSVA är en regional VA-organisation i nordvästra Skåne som sedan 2009 ansvarar för den kommunala vatten- och avloppsverksamheten. Organisationen består av de sex ägarkommunerna Bjuv, Båstad, Helsingborg, Landskrona, Svalöv och Åstorp. Varje kommun har sitt

eget VA-nät, verksamhetsområden, investeringar, VA-taxa och allmänna bestämmelser. NSVA verkar för att enklare kunna samarbeta i kommunöverskridande projekt (NSVA, 2016a).

I Helsingborg finns det runt 80 dagvattenanläggningar och i Landskrona ca 30 medan Bjuv, Svalöv och Åstorp endast har några få. Antalet dagvattenanläggningar är beroende på hur mycket respektive kommun arbetat med dagvatten samt storleken på kommunen (Augustsson, 2016). I Helsingborg byggdes de första dagvattendammarna under slutet av 60- talet och början av 70-talet. Även i Landskrona finns flera dammar, både torra och våta, dock inga regnbäddar (Augustsson, 2016).

Rening eller fördröjning

Inom NSVA arbetar man dels med att fördröja dagvatten och undvika översvämningar men även reningsaspekten har en betydande roll i deras arbete med. Man har gjort ett par projekt som är till för att ta hand om dagvatten och då speciellt med tanke på rening (Augustsson, 2016).

Ett exempel på detta är Välabäcken som tar emot vatten från bl.a. industriområden. Där har man en större grönyta där det rinner en bäck som vid skyfall kan översvämmas så att de gröna ytorna täcks och vattnet sedan kan infiltrera genom den gröna ytan. Tanken är att genom att vattnet får en längre tid innan det når recipienten så renas det på vägen genom infiltration, sedimentering och upptag av växter. Detta är inte någon regnbädd men ett exempel där NSVA har tagit hänsyn till reningsaspekten (Augustsson, 2016).

Man har även byggt en anläggning vid Välluv som blev klar för ett år sedan. Man har här samarbetat med flera personer för att få in flera värden såsom fördröjning, rening, biologisk mångfald och rekreation (Augustsson, 2016).

Planer och policies

Inom NSVA finns en dagvattenpolicy som säger att dagvattensystemen ska kunna fördröja regn för att minska risken för översvämningar och att de även ska minska dagvattnets föroreningsgrad. Man ska även dimensionera och välja plats för anläggningen för att bibehålla den naturliga vattenbalansen så gott som möjligt samt reducera och reglera flödena för minsta möjliga belastning på ledningsnätet. Anläggningen ska även bidra med egenskaper som berikar miljön med hänsyn till upplevelser, rekreation, lek, naturvärden samt biologisk mångfald (NSVA, 2016).

Man har dels dagvattenpolicyn som man rättar sig efter och sen har man även dagvattenplanen. I den tittar man på hur det ser ut i nuläget, åtgärdsbehov och behov i framtiden med avseende på flöde och kvalitet. Man har ännu inte gjort detta för samtliga kommuner men för Helsingborg är den klar. I samband med att den arbetades fram hölls diskussioner med samtliga miljöförvaltningar inom NSVA om kvalitet och föroreningar och hur de ska arbeta framåt med detta. Det är en komplex fråga som till stor del handlar om att man ska göra rätt vid om- och nybyggnationer (Augustsson, 2016).

Det finns även dagvattenplaner för Landskrona och Åstorp som är gjorda och materialet är klart men de är ännu inte genomröstade av politikerna i respektive kommun. I dessa kommuner har man arbetat lite annorlunda för att ta fram planerna. Man har tittat mycket på kartor och lågpunkter och även använt data från Storm Tac för att kunna avgöra var behovet är störst

för att rena dagvatten. Detta har visat sig vara just i tätbebyggda områden, trafikerade områden och där verksamheter kan orsaka hög belastning (Augustsson, 2016).

NSVA jobbar också mot fastighetsägare men då handlar det ofta om fördröjning. Dock rådgör de med fastighetsägarna om hur vattnet ska ledas, t.ex. mot svackdiken och gräsytor. De har även ställt krav på oljeavskiljare för vissa verksamheter. Det är svårt att veta vilka krav man kan ställa på olika verksamheter eftersom det inte finns några nationella riktlinjer. Krav och rekommendationer ställs för varje enskilt ärende (Augustsson, 2016).

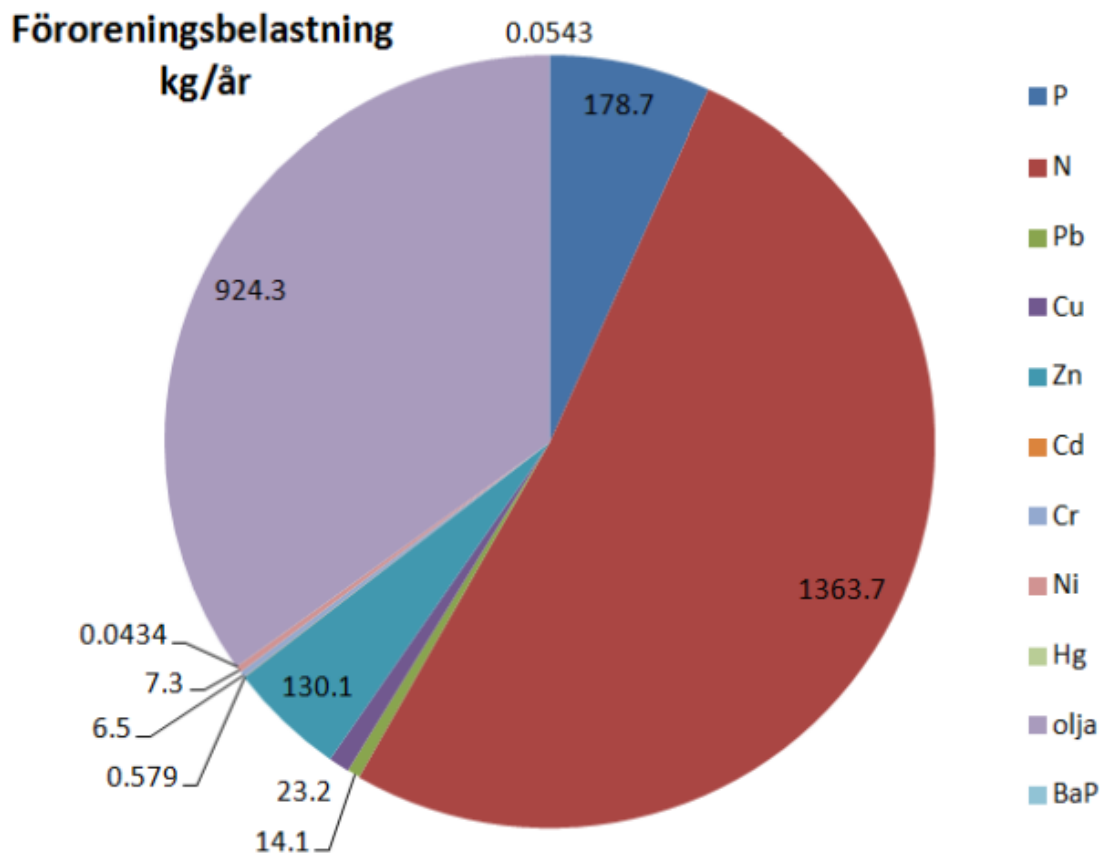
På NSVA är man delaktig då miljötillstånden ska förnyas för olika verksamheter. Det är länsstyrelsen som har hand om detta för stora verksamheter och kommunen för mindre verksamheter. NSVA får detta på remiss för att yttra sig om det finns risk för förorening av dagvatten och om provtagning behövs. De är även delaktiga i arbetet med översiktsplanerna för hur kommuner ska utformas när det gäller vattenavrinning, säkra vägar, översvämningssproblematik, skyfall och rening. Vid nybyggnation är de också med under byggtiden och får bygglov på remiss (Augustsson, 2016).

Vilka ämnen finns i dagvattnet?

På NSVA vet man utifrån nationella tester och stickprov var behovet av rening är störst vilket främst gäller trafikmetaller och byggmaterial. De nationella testerna grundar sig främst på data från Storm Tac samt NOS-projektet (Augustsson, 2016).

Storm Tac:s provtagningar görs med hjälp av flödesstyrda provtagare och under lång tid och kan därför ses som tillförlitliga värden för svenska förhållanden (Pirzadeh, et al., 2015). NSVA har tagit stickprov på dagvatten inom verksamhetsområden för att få en snabb överblick av föroreningar, dock tar de inga rutinmässiga prover av dagvatten i nuläget. De har därför inte något specifikt fokus på en viss sorts förorening typiskt för området utan utgår från de nationella studierna (Augustsson, 2016). I figur 6.1 nedan visas ett föroreningsdiagram över föroreningsbelastningen beräknat för ett område i Helsingborg innehållande till största delen industrier men även en del bostadsområden. Ur figuren kan man avläsa att de fem största posterna för föroreningar i dagvattnet i Helsingborg är kväve, olja, fosfor, zink och koppar. De ämnen som enligt Pirzadeh et al (2015) visade på flest överskridanden vid stickprovstagningarna i förhållande till gränsvärdena för respektive ämne var zink, koppar och fosfor.

I stadsmiljö kommer troligtvis de flesta föroreningarna från biltrafiken menar Augustsson (2016). De stora vägarna som ägs av trafikverket har slänter vid sidan och dessa har vid andra studier visat sig göra väldigt stor skillnad i hur mycket föroreningar från vägen som når recipienten. Annars går mycket av vattnet till kantstenar och ledningar och når inte ofta till grönområden, här finns det en stor potential till förbättring. Allmänt gäller det i Skåne att eftersom det är ett jordbrukslandskap och att det därmed finns många olika källor till fosfor och kväve såsom avlopp och jordbruk kommer dessa ämnen även finnas i dagvatten (Augustsson, 2016).



Figur 6.1 Föroreningsbelastning för ett område i Helsingborg (Augustsson, et al., 2015). Bilden är publicerad med tillåtelse av NSVA.

Framtiden

Inför stadsplanen som NSVA har arbetat med inför 2017 har man arbetat mycket med prioritera för framtiden och frågor om var behovet av rening är extra stort. I denna plan kommer man även in på tanken att anlägga regnbäddar och här finns det en stor potential att vidareutveckla. Det finns även förslag på att bygga våtmarker och dammar vilket man framförallt förlagt till lågpunkter där det ändå inte lämpar sig att bygga. Målet är att de som arbetar inom park och gata ska bli mer insatta och vara med i att skapa lösningar för dagvatten (Augustsson, 2016)

NSVA är intresserade av att bygga i gatumiljö men det handlar om att koordinera olika delar såsom gata och park och projektledarna på de olika kommunerna. Ideerna måste säljas in vilket troligtvis är lättare nu när det finns exempel från Sverige och inte bara från t.ex. Portland. Regnbäddar kan nog bli verklighet i framtiden och på NSVA menar Augustsson (2016) att och de sitter på mycket kunskap. Troligtvis är det en fördel att börja anlägga genom att ta in personer som varit med i projekt i Sverige och kan bidra med kunskap samt kostnadsberäkningar (Augustsson, 2016).

6.1.2 VA SYD

VA SYD är en VA- kollektiv som verkar i sydvästra Skåne och ägs av Burlöv, Eslöv, Lund och Malmö. VA SYD är ett kommunförbund vilket innebär att de är politiskt styrda av medlemkommunernas VA-verksamheter (VASYD, 2016).

VA SYD har tagit fram inriktningsmål som gäller fram till 2019, vilka innebär att man vid slutet av 2019 ska planer vara upprättade för samtliga medlemskommuner för skyfalls- och översvämningsscenario. Dessutom ska det finnas dagvattenstrategier för samtliga medlemskommuner (Svensson & Ledskog, 2016).

Policies för Malmö stad

I Malmö vill man att dagvattenhanteringen ska ses som en tillgång till stadsbilden och vid konstruktion av en dagvattenanläggning ska hänsyn tas till funktion, biologisk mångfald, estetik och säkerhet (Stahre, 2007).

Här finns krav på att alla byggnader ska byggas minst 3 m.ö.h. Tidigare var kravet 2,5 m.ö.h. men med stigande havsnivåer har detta höjts. Det finns även krav på vilket flöde av vatten som är tillåtet i olika områden. I anslutning till Risebergabäcken är maximalt tillåtet dagvattenflöde 1.5 l/(s*ha) medan det i områden som inte har lika starka krav, t.ex. Svågertorp, är det tillåtet med max 20 l/(s*ha). I villakvarter ställs krav att minst 50 % av dagvattnet från hårdgjorda ytor leds till permeabla ytor där vattnet kan fördröjas inna det når det kommunala systemet. Det finns även krav på att dagvattnet ska renas, dock är det inte specificerat hur mycket i Malmös dagvattenstrategi (Stahre, 2007).

Rening eller fördröjning

VA SYD har fokuserat mycket på att fördröja dagvatten då ledningsnätet och recipienten inte har kunnat ta emot allt vatten vid kraftiga regn. Man gjorde sedan en satsning på rening av dagvatten och nya anläggningar har byggts för att rena dagvattnet. Översvämningarna som drabbade Malmö i augusti 2014 bidrog dock till att man var tvungna att fokusera ytterligare på skyfallshantering (Hall & Johansson, 2016).

Skyfallet 2014 har öppnat ögonen hos många över att dagvatten är en fråga som man måste ta tag i. Det finns dock motstridiga intressen i samhället idag med en stor bostadsbrist som också behöver mark för att bygga nytt, mark som också behövs för att ta hand om dagvatten (Hall & Johansson, 2016).

Hall och Johansson (2016) på VA SYD framhåller även att det är viktigt att man tänker efter innan man väljer att bygga en anläggning eftersom det innebär en stor kostnad, både byggnation och underhåll, samt att man måste utreda vad man faktiskt vill uppnå med anläggningen ordentligt innan den byggs. Utformningen av anläggningen kan t.ex. påverka möjligheter till underhåll och driftkostnader. Frågor såsom framtida underhåll och ansvar är också något som måste utredas innan anläggande. Det är VA-kollektivet som betalar åtgärderna och det är därför viktigt att använda pengarna på ett ansvarsfullt sätt.

I städer har man ofta en mycket begränsad yta till förfogande vilket ställer höga krav på dagvattenhanteringen eftersom vattnet behöver en lång uppehållstid för att partiklar ska hinna sedimentera och därmed uppnå en god rening. Den begränsade ytan man har att arbeta med i en stad gör att man inte alltid kan anlägga öppna dagvattenlösningar utan man måste anpassa

åtgärden för platsen i fråga. Yteffektiva eller underjordiska lösningar kan vara alternativ när det inte finns yta på marken. (Hall & Johansson, 2016).

Vilka ämnen finns i dagvattnet?

VA SYD har gjort stickprovskontroller i ett par dagvattendammar i Malmö och Lund. De prover de tagit visar att höga halter av näringsämnen har påvisats där vatten från åkermark har tillförts. Dock är en stickprovundersökning just en stickprovundersökning och därmed inte tillräckligt omfattande för att dra några dirketa slutsatser från resultaten utan kan snarare ses som en fingervisning till hur det skulle kunna se ut (Hall & Johansson, 2016).

För att kunna ta en representativ mätning krävs noggranna förberedelser samt att man ska kunna ta flödesproportionella mätningar, det kräver oftast mycket manuellt arbete vilket gör att det är mycket tidskrävande och kan bli kostsamt. Med detta som bakgrund utgår man på VA SYD från Storm Tacs värden, liksom NSVA, kombinerat med stickprovskontroll på platser där man misstänker utsläpp. Storm Tac ett bra och kostnadseffektivt alternativ till egna mätningar av vattnets föroreningshalter. På sikt kan det dock bli aktuellt att mäta också, men precis som när man ska bygga dagvattenanläggningar behöver man ha tänkt igenom provtagningen innan så att man får den information man vill från mätningen (Hall & Johansson, 2016).

Lagstiftning

Miljöbalken är det tydligaste regelverket som ställer krav inom miljöområdet. Miljöförvaltningen är miljöbalkens tillsynsmyndighet och de eventuella krav som miljöförvaltningen skulle kunna ställa på VA SYD måste ha stöd i lagstiftningen, dvs. miljöbalken. I dagsläget ställer miljöförvaltningen dock inga krav på VA SYD (Hall & Johansson, 2016).

Ett sätt att minska reningsbehovet är att börja kolla på hur man kan förändra staden till en hållbar stad, exempelvis genom att man undviker koppartak för att på så sätt slippa rena för koppar. Det är lättare att inte smutsa ner än att rena, dett gäller även biltraffiken men det är lättare att minska koppartaken än att minska bilismen även om man självklart ska jobbar för båda delar (Hall & Johansson, 2016).

Regnbäddar

Just nu håller ett projekt på Neptunigatan på att ta form. Det är ett forskningsprojekt där VA SYD är en del, där man kommer fokusera på rening av metaller. Detta ligger precis vid hamnen i Malmö och därför är intresset för fördröjning litet, man vill därför testa att få igenom så mycket vatten som möjligt men ändå med en god rening, därför har man valt att arbeta med grövre material (Hall & Johansson, 2016).

Regnbädden som finns på på Monbijougatan (bild på omslaget) är främst byggd för utsmyckning eftersom det är en gata med relativt lite regnvatten och trafik. Denna regnbädd är byggd av Malmö stad och VA SYD har inte varit involverade. Den regnbädd byggdes troligen för att det är en stor gata och man ville fräscha upp och passade då även på att rena det vatten som var där (Hall & Johansson, 2016).

Framtiden

På frågan huruvida en regnbädd hade varit en bra lösning på problemet med att man behöver kunna rena vatten på en liten yta svarar Hall & Johansson (2016) att regnbäddar är en väldigt bra lösning men det är svårt att veta var gränsen går till andra lösningar för rening av dagvatten, exempelvis en stenkista eller en vanlig rabatt. De tror på att vi ska minska fokus på namnet och istället fokusera på att försöka få in så många reningsvägar som möjligt i staden, till exempel skelettjord kring träd. Lösningen ska med andra ord anpassa efter de behov och förutsättningar som finns (Hall & Johansson, 2016).

I framtiden önskar VA SYD en tydligare lagstiftning som gör det enklare för dem att ställa krav på fastighetsägare. De anser att för att öka viljan att göra något måste också incitamente öka. Som ett exempel på detta säger Hall & Johansson (2016) att det i Berlin kostar 2 euro per kvadratmeter hårdgjord yta och år medan det i Lund kostar ca 50 öre att få sitt dagvatten omhändertaget, dvs. det är kostnaden för fastighetsägaren att släppa vattnet till det allmänna dagvattennätet. Detta medför att man i Berlin gör vad man kan för att ta hand om sitt eget dagvatten eftersom det blir så dyrt att släppa det vidare till kommunen. (Hall & Johansson, 2016).

6.1.3 Stockholm Vatten VA AB

I Stockholm är det Stockholm vatten VA AB som ansvarar för vatten-, spillvatten- och dagvattenhanteringen. De har tagit fram en ny dagvattenstrategi som syftar till att avleda dagvatten på ett så naturligt sätt som möjligt. Det betyder att man frångår att leda dagvatten direkt från en brunn, via en ledning till närmaste sjö. Nu vill man istället att vattnet går genom en växtbädd, gräsmatta eller genomsläpplig beläggning innan det når recipienten. Man är även noggrann med att vid nybyggnation ha en plan för höjdsättning och ytor för att minska risken för översvämningar av byggnader (Vall, 2014). Man har fyra större mål med sin dagvattenhantering i Stockholm. De är:

- Förbättrad vattenkvalitet i stadens vatten
- Robust och klimatanpassad dagvattenhantering
- Resurs och värdeskapande för staden
- Miljömässigt och kostnadseffektivt genomförande

För att uppnå dessa mål ska man i Stockholm maximera andelen genomsläppliga ytor för att nå en större infiltration. Man ska även satsa på att fördröja och ta hand om dagvattnet lokalt på allmän mark innan det går vidare mot recipienten. Vid anläggande av nya dagvattenanläggningar ska man även anpassa dem för klimatförändringar samt framtida utbyggnader, men ska även alltid planera för dagvatten och avrinningsvägar (Vall, 2015).

I Stockholm är de största problemen med dagvattenrening kopplat till dess innehåll av näringsämnen och miljöfarliga ämnen. Åtgärder för att minska dessa halter finns framtagna i både Stockholms "Handlingsplan för god vattenstatus" och "Miljöprogram" (Vall, 2015).

Rening eller fördröjning

Vid nybyggnation försöker Stockholm vatten VA AB och även andra parter i staden påverka planeringen för att få in båda delarna, d.v.s. både rening och fördröjning. Ambitionen är att skapa både fördröjning och rening vid nybyggnation, med fördröjning här menas inte skyfallshantering utan snarare av mindre regnmängder. Man är inte där än men arbetar mot det.

Även planering med höjdsättning vid nybyggnation är något man strävar efter att få in mer och mer (Vall, 2016).

I befintlig miljö ligger fokus på att rena vattnet från allmänna ytor. När det gäller flöden där arbetar man med att åtgärda nätet där man ser att kapaciteten inte räcker till. Detta kan man göra genom att exempelvis skapa fördröjning och fördröjningsamgasin där det finns behov av det eller öka kapaciteten på annat sätt. Detta gäller dock ej för skyfallshanteringen, då det ansvaret inte ligger på VA- huvudmannen, Stockholm vatten VA AB har dock varit aktiva i framtagandet av skyfallskarteringen som är tänkt att ligga till grund för planering av en klimatanpassning av staden (Vall, 2016).

Vilka ämnen finns i dagvattnet?

Åtgärdsarbetet handlar om vilka ämnen som finns med i miljökvalitetsnormerna, dvs. prioriterade och förorenande ämnen. I dagsläget har staden, stora delar utförs av Stockholm Vatten VA AB, provtagningar på framförallt metaller och näringsämnen men kompletterande provtagning av organiska ämnen har påbörjats. Dessa mätningar är de som bildar utgångspunkten i vad man väljer att arbeta vidare med (Vall, 2016).

Anledningen till att man hittills framförallt har fokuserat på metaller och näringsämnen är att det är där det finns mest kunskap men att man med ökad kunskap av dagvatten även kommer mäta fler parametrar (Vall, 2016).

En annan fråga som ofta diskuteras inom dagvattenhanteringen är vad som är partikelbundet och vad som är löst. De anläggningsslag som har byggts har ofta främst kunnat fånga partikelbundna föroreningar. Vall (2016) tror dock att anläggningarna kommer att behöva utformas för att ta även lösta föroreningar i framtiden och att regnbäddar t.ex. kan vara en lösning här.

Idag ligger fokus vid planering av dagvattenrening på fosfor, koppar och zink. Även andra ämnen finns med i processen men detta är de tre ledämnena. Anledningen till detta är att det är ämnen som det finns relativt god kunskap om (Vall, 2016)

Lagstiftning

De tillåtna nivåerna är mycket svåra att nå, men självklart ska man göra vad som är rimligt för att minska föroreningar vid nybyggnation. Att nå de nivåer som man förväntas på allt tillrinnande vatten är väldigt svårt. Det är bland annat fosfor som försvårar och sticker ut (Vall, 2016).

Stockholm vatten VA AB håller på att göra en översättning/ förenkling av de tillåtna nivåerna för att kunna se hur mycket man behöver göra vid nyexploatering. Detta eftersom det i varje enskild exploatering blir svårt att se hur ett område påverkar recipienten i stort (Vall, 2016).

Framtiden

Man har idag inga regnbäddar men arbetar för att kunna anlägga i framtiden. Önskan med en regnbädd är att man där ska kunna fånga stor andel av de föroreningar som behöver avskiljas. Man skulle där även satsa på att även avskilja lösta föroreningar. Problemet är markfrågan och att den yta man behöver för att få till en regnbädd är svår att avsätta. Det är många som

vill åt marken ovanför jord i städer och det är därför hård konkurrens om ytorna. Skelettjordar har för staden varit ett sätt att få in rening samtidigt som magasinet ligger under mark och mindre yta därför behövs ta i anspråk. Att gå från detta till att öppna upp för en hel växtbädd är ett stort steg och tiden får utvisa vilka lösningar som är optimala för Stockholm (Vall, 2016).

En annan fråga som är viktig att fastslå för att få till regnbäddar eller motsvarande anläggningar på allmänna ytor i staden är ansvaret för drift och underhåll. Detta är dock på gång.

När det gäller bristande åtgärder på kvartersmark beror detta i stort på bristfälliga möjligheter att ställa krav på vattenkvalitet och flöde. Dagens lagstiftning har utgått ifrån att den kvaliteten som lämnar en fastighet oftast har den kvalitet som krävs och om rening behövs så görs det nedströms på den allmänna anläggningen (Vall, 2016).

Vall (2016) tror att kvalitetsfrågan kommer ta längre tid för folk i allmänhet att ta hänsyn till och trots ett ökat miljömedvetande är det en mer abstrakt fråga än exempelvis skyfallshantering. Vid ett skyfall blir det översvämningar och då är det enkelt för folk att se att här måste vi göra något, detta är en fråga som skrämmer folk.

Även om man inom Stockholms kommun känner att motivationen finns för att nå bra värden i stadens recipienter kommer det att bli svårt att uppnå de fastslagna nivåerna. Motivationen finns ändå och inställningen är att man ska göra vad man kan (Vall, 2016).

7 Sammanställning av resultat

I detta kapitel kommer en sammanställning göras av den information som endast finns i textform i ovanstående kapitel och är nära sammankopplad med frågeställningen. Alltså kommer här en sammanställning av de olika regnbäddstyperna, olika typer av biofilter samt ämnen de kan användas att rena dagvatten från. Det kommer även en sammanfattning av arbetet som utförs av de kommunala organisationer som diskuterades i avsnitt 4.3. Detta kommer tillsammans med information från tidigare kapitel sedan att diskuteras i kapitel 8.

I tabell 7.1 nedan finns en sammanställning av de olika regnbäddstyperna, som beskrivits i kapitel 3.2, samt vad som är karakteristiskt för respektive bädd. Det finns även en kolumn som anger under vilka förhållanden de är mest lämpade.

Tabell 7.1 Sammanställning av olika växtbäddars karaktär och lämplighet

| Regnbäddstyp | Karaktär | Lämpliga förhållanden |
|--------------|--|--|
| 1 | Externt avvattningssystem, stor genomsläpplighet | Regnrik plats, mark som klarar av stor mängd perkolerande vatten, låga föroreningshalter |
| 2 | Dräneringsledning | Regnrik plats, mark som klarar av stor mängd perkolerande vatten, låga föroreningshalter |
| 3 | Makadamfilter och dräneringsledning i ovankant, ojämn fukthalt | Regnrik plats, låga föroreningshalter |
| 4 | Tät duk under makadamlagret, ojämn fukthalt | Höga föroreningshalter |
| 5 | Tät duk under makadamlagret (kan dock uteslutas), vattenlås | Torkbenägen plats |

I tabell 7.2 nedan finns en sammanställning över de olika biofilter som togs upp i sektion 4.2. Sammanställningen innefattar de olika filtren samt deras primära reningsfunktion.

Tabell 7.2 Sammanställning över befintliga biofilter samt vad de renar för.

| Biofilter | Renar vattnet från |
|--|---|
| Sand | Partikelbundna föroreningar |
| Rostjord | Fosfor |
| Aktivt kol | Kadmium och zink |
| Biokol | Zink, patogener |
| Zeolit | Patogener |
| Opoka | Fosfor, kväve, tungmetaller |
| Furubarksflis | Bly, koppar, zink, olja, bensin |
| Torv | Koppar, zink, bly, TSS, PAH |
| Membranfilter (Högteknologiskt filter som ibland används i regnbäddar) | Tungmetaller, om man adderar aktivt kol även organiska föreningar |

I tabell 7.3 nedan visas en sammanställning av var de olika kommunala organisaionerna befinner sig idag, hur de planerar att gå vidare med sitt arbete inom dagvattenhantering samt hur de ställer sig till anläggandet av regnbäddar.

Tabell 7.3 Sammanfattning av de kommunala bolagens arbete och framtida planer

| | Idag | Framtid | Regnbädd |
|----------------------------|---------------------|---|---|
| NSVA | Rening, fördröjning | Dagvattenpolicies för samtliga kommuner, öka kunskapen av behov av rening och fördröjning | Positivt inställda, kunskap finns, ännu ej anlagt |
| VA SYD | Rening, fördröjning | Dagvattenpolicies för samtliga kommuner | Finns och intresset för öppna dagvattenlösningar stort, inte tvunget regnbädd |
| Stockholm vatten AB | Rening, fördröjning | Samarbeta med gata och park, satsa mer på organiska och lösta föreningar | Positivt inställda, svårt med mark och ansvarsfrågan |

8 Diskussion

8.1 Filter och konstruktion

Regnbäddar är en dagvattenlösning som kräver något mer plats än vad många andra dagvattenlösningar gör. Dock kan man anpassa utseende och form mycket beroende på vad som passar platsen. Genom att studera de olika regnbäddstyper som finns att välja mellan, se tabell 7.1, kan man konstatera att de går att anpassa i mycket stor utsträckning till förhållanden på plats.

Vilket filter och konstruktion som är mest effektiv för att rena från ett specifikt ämne diskuteras nedan med hjälp av informationen i kapitel 4 och tabell 7.1 och 7.2.

8.1.1 Hårt trafikerade områden

Regnbäddar kan anläggas på många större platser och inom just trafikplanering är de en mycket bra lösning. Detta då de kan fylla flera funktioner såsom sänka hastigheten på vägar, då de minskar vägbredden, där man vill det eller höja välbefinnandet i annars ”tråkiga områden” som främst består av vägar och hus. Genom att addera en regnbädd där får man också in växtlighet som har många positiva egenskaper. En ytterligare fördel med att anlägga i trafikmiljö är att föroreningar i dagvatten i stor utsträckning kommer från just vägar och bilismen. Om man då kan fånga upp det vattnet så fort som möjligt är det en klar fördel eftersom spridningen av föroreningarna skulle minska. Genom att dagvattnet samlas in direkt kan det renas omgående och inte sprida föroreningar i naturen.

Från bilismen och vägarna är det framförallt olja och PAH som vattnet behöver renas från, men även koppar som finns på bilarnas bromsbelägg. För att rena från olja och PAH är furubarksflis och torv bra filtermaterial. Både furubarksflis och torv är lättillgängliga och billiga material som även kan återanvändas efter att de är färdigbrukade som filter. Dock kan man se att furubarksflis är effektivare än torv på att reducera koppar vilket talar för att furubarksflis filter är det bästa filtervalet i trafikerade områden. Även torv har mycket bra reningskvoter för koppar och därför är de båda bra alternativ.

Ett ytterligare alternativ för rening av just PAH och olja är sand. Detta då både PAH och olja är starkt partikelbundet och sand är ett bra filter för just partikelbundna föroreningar. Sand har också fördelen att det innehåller kvarts vilket fungerar bra vid rening från bly.

Bly kommer framförallt från bensindrivna fordon och är därför aktuellt i trafikerade områden. Blyföroreningarna har visserligen minskat mycket sedan man införde blyfri bensin varför bly ofta inte prioriteras lika högt som koppar i områden som idag trafikeras mycket. Dock är det så att tungmetaller som kommit ut i naturen inte försvinner så det kommer alltid finnas i naturen och behovet att rena för bly kommer därmed finnas kvar.

8.1.2 Städer

Regnbäddar anläggs ofta i städer där vägar och bilism stora utsläppskällor, men det kommer även mycket föroreningar från exempelvis hustaken. Där är det framförallt koppar- och zinkföroreningar som uppstår. Filter som är väl lämpade att använda för att rena dagvattnet från dessa metaller är exempelvis furubarksflis och torv precis som för trafikerade områden, men även membranfilter och aktivt kol/ biokol.

Membranfilter har visat sig ha en bra reduceringsförmåga för metaller och är därför ett bra alternativ. Även biokol har visat sig vara ett bra filter för att reducera framförallt zink men troligtvis även koppar.

Biokolets förmåga att reducera zink beror på att det ökar CEC, katjonsutbyteskapaciteten, i jorden och man har även sett att CEC ökar med tiden i biokol. Ur ett hållbarhetsperspektiv är biokol ett mycket bra substrat att använda. Då det har en mycket lång livstid i jorden, 100 – 5000 år (Wiström, 2014). Med detta i åtanke är biokol det långsiktigt bästa alternativet för att minska föroreningar av zink i dagvattnet. Eftersom man inte helt kartlagt biokolets förmåga att reducera koppar är detta något man bör utföra fler studier av. Under tiden kan det vara lämpligt att komplettera filtret med ett membranfilter för att vara säker på att kopparföroreningarna också försvinner, dock är det möjligt att det räcker med ett membranfilter beroende på vilken sorts filter man väljer. Biokol har även visat sig öka den fördröjande effekten hos regnbäddar och är även på grund av detta ett bra alternativ inne i städer, eftersom det fördröjer vattnet och på så vis minskar risken för översvämningar.

Ett generellt problem när man studerar metallreduktionen i dagvatten med hjälp av biofilter är att många biofilterstudier endast tar hänsyn till totalhalter. Detta trots att partikelbundna metaller är enklare att avskilja än lösta metaller. De partikelbundna reduktionerna är dessutom relativt stabila medan reningen av lösta metaller varierar i större grad. Studier där man enbart tittat på reduktion av lösta metaller är mer sällsynt förekommande (Blecken, 2016). För att reducera mängden lösta metaller är troligtvis det mest gångbara att använda sig av kemisk fällning, se avsnitt 4.1.4.

För att minska risken för att patogener sprider sig med dagvatten och därmed orsakar sjukdom på personer som bor i städerna kan man lämpligtvis använda sig av biokol som även renar väl för zink, alternativt komplettera andra filter med ett filter av zeolit. Växtlighet har också visat sig vara ett effektivt material för att reducera mängden patogener.

Ur ett kostnads- och hållbarhetsperspektiv är biokol det bästa alternativet då det även är mycket effektivt för reducering av zink och har lång hållbarhetstid. Zeolit är framförallt användbart för patogener men renar inte direkt för några andra material. Generellt sätt bör man alltid satsa på växtligheten på regnbäddar eftersom det bl.a. minskar mängden patogener men även har andra positiva estetiska effekter på området.

8.1.3 Jordbrukslandskap

I övrigt är det som Augustsson (2016) säger att i ett jordbrukslandskap, som både NSVA och VA SYD ligger i, kommer näringsämnen från omgivande åkrar vilket vattnet behöver renas från. Det gäller då framförallt fosfor och kväve och lämpliga filter för dessa är exempelvis opoka, samt för fosfor även rostjord.

Opoka har visat sig ha god förmåga att reducera fosfor, kväve och tungmetaller. Rostjord är framförallt ett bra material för att reducera fosfor, men man tror även att det kan vara bra för att reducera tungmetaller dock har studier på detta gett skiftande resultat varför den förmågan inte är klarlagd. Om man jämför dessa två material är opoka det som är mest lämpat för att reducera just fosfor och kväve.

Kväve är generellt ett ämne som är svårt att reducera och för att förbättra reduktionen av kväve och möjliggöra denitrifikation i biofilter kan man konstruera en regnbädd med ett vattenlås kombinerat med en kolkälla för att skapa en vattenmättad och syrefattig zon vilket

krävs för att denitrifikation ska fortgå. Kolkällan som adderas kan bestå av exempelvis tidningspapper, halm eller spån. När biofiltret har användts ett tag bidrar nedbrytning av växter tillräckligt med kol och därför behöver man inte tillsätta kol till en äldre regnbädd (Blecken, 2016). Därmed är just detta, d.v.s. en regnbädd med vattenlås och kolkälla en långsiktigt hållbar lösning för att minska mängden kväve i dagvatten.

För filtrering av växtskyddsmedel med hjälp av biofilter har endast ett fåtal studier gjorts. Dessa visar dock på en bra reningspotential på över 80 % på glyfosat. För att kunna uttala sig mer i frågan om vilket filtermaterial som är bäst lämpat för att rena från växtskyddsmedel behövs fler studier.

Just nu pågår ett forskningsprojekt på Neptunigatan i Malmö där man försöker sammanlänka flera olika regngårdens med olika funktioner i ett försöka att rena från flera olika sorters föroreningar. Detta är ett väldigt intressant och spännande forskningsområde som jag tror kommer öka de närmaste åren i Sveige eftersom behovet och kunskapen om förorenat dagvatten ökar hela tiden.

8.2 Fördröjning eller rening

För att fördröja dagvatten och på så sätt minska risken för översvämningar krävs det att regnbädden kan ta hand om stora vattenvolymer under en längre tid. Om man istället vill fokusera på att rena dagvattnet klarar filtren ofta endast av att ta emot mindre vattenmängder för att nå en effektiv rening. Därför kan renings- och fördröjningsbehovet ibland stå i motsats till varandra och man får välja vilken aspekt man vill fokusera på.

8.3 Riktlinjer

EU:s ramdirektiv och riktlinjerna för dagvattenhantering i Sverige ger en bild av vilka ämnen som man bör prioritera vid hantering och rening av dagvatten. Detta tillsammans med Storm Tacs värden för hur föroreningshalterna ser ut i Sverige ger en bild av vilka ämnen som bör prioriteras i dagvattenhanteringen i Sverige. Dock tror jag att avsaknaden av krav på tillåtna föroreningshalter gör att man släpper ut mer förorenat vatten än vad som behövs. Jag menar att om man från svenskt håll ställde tydligare krav på vilka utsläppsnivåer som var tillåtna för dagvatten skulle arbetet gå fortare framåt. Idag finns det inga tydliga krav sådana på utsläppshalter till recipienterna utan bara att man måste ta fram en dagvattenpolicy som sedan kommunerna har att ta hänsyn till och ställa sina egna krav. Enligt Hall (2016) på VA SYD är kraven från EU svåruppnåeliga och därför vore det en bra idé att lägga fram tydliga delmål för kommunerna i Sverige som ett sätt att på sikt leda hela Sverige mot ett renare vatten och friskare hav, sjöar och vattendrag.

Dagvatten bör framför allt renas från fosfor, kväve, koppar och zink om man utgår från uppmätt medelvärde på inflödeskoncentration med riktvärden för dagvatten. Om man jämför med tillåtna värden enligt ramdirektivet kan man se att man även bör rena för krom. Här skiljer sig dock riktlinjer mellan vattendirektivet och riktvärdena för dagvatten i Sverige åt, då man i Sverige inte har samma krav på att rena för krom. Detta skulle kunna bero på att krom är ett mindre problem i Sverige än i andra europeiska länder vilket även bekräftas av att kromhalten som man mätt upp vid stickprov i Helsingborg visade på mycket låga halter.

Vad gäller riktlinjer för PAH och olja antog EU-parlamentet 2005 en reglering för användning av PAH som utfyllnadsolja i däck. I och med denna reglering förväntas PAH-utsläppen från bildäck minska och efter en tid helt upphöra (Ekman, 2014).

Anledningen till att värden från NOS-projektet och Storm Tac skiljer sig åt är att Storm Tac värdena gäller för avrinningsområden inne i centrum medan värden från NOS-projektet är från blandade avrinningsområden. Man kan med en jämförelse av tabell 5.2 och 5.3 se att fosfor, kväve, koppar och krom är relativt jämna i båda tabellerna. Det ämne som framförallt sticker ut är bly som finns i betydligt högre halter i centrumområden. Detta beror troligtvis på en högre koncentration av biltrafik. Även zink ligger märkbart högre i koncentrationerna i Storm Tac än NOS, även detta beror troligen på biltrafik.

8.4 Jämförelse av föroreningshalter i Sverige mot givna riktvärden

Här följer en jämförelse av de riktvärden som gäller i Sverige mot de som EU angivit i ramdirektivet och hur de förhåller sig till uppmätta värden enligt Storm Tac och NOS- projektet.

8.4.1 Näringsämnen

Genom att jämföra föroreningsnivåerna från NOS- projektet med värdena från Storm Tac kan man se att fosfor och kväve är två ämnen som man ofta behöver rena från. Dock visar Storm Tacs värde för kväve att det klarar sig inom riklinjerna medan värdena från NOS- projektet överstiger gränsvärdena ibland. Detsamma gäller för fosfor som enligt Storm Tac ligger över riktvärdena medan det enligt NOS-projektet ibland klarar sig under.

För både kväve och fosfor gäller dock att man ofta behöver rena från dem båda. Anledningen att halterna i Storm Tac:s mätningar och NOS-projektet visar olika beror sannolikt på svårigheterna i att mäta föroreningshalterna i dagvatten.

8.4.2 Metaller

Vad gäller halterna av bly så klarar sig det bra i NOS- projektets mätningar men inte i mätningarna från Storm Tac. Även här beror troligtvis skillnaden på svårigheten att mäta.

När det gäller koppar och zink ser man att både enligt ramdirektivet och de svenska riktvärdena så behöver man rena för koppar. Dock kan man se en stor skillnad i tillåtna värden och enligt dessa har ramdirektivet hårdare krav.

Vad gäller kadmium och krom kan man se att båda mätningarna uppfyller de svenska riktlinjerna men inte de som är satta från EU. Halterna av nickel däremot uppfylls både i NOS-projektets mätningar och Storm Tac:s värden och kan därför antas inte vara ett större problem i svensk dagvattenhantering.

Det är intressant att se hur EU:s ramdirektiv ställer högre krav på vattenkvaliteten än Sveriges riktlinjer. Detta skulle kunna bero på att EU sätter mer långsiktigt mål, medan man i Sverige sätter mål som är rimliga att uppnå inom en relativt snar framtid, detta för att sedan öka kraven allt eftersom.

8.4.3 Olja, PAH och suspenderat material

För olja och PAH finns det mindre tillgänglig information men enligt riktlinjerna för Sverige behöver man rena från både olja och PAH. Här har jämförelsen gjorts mellan riktlinjernas värden för olja och Storm Tacs uppmätta värden för PAH:er. Detta har gjorts då informationen är knapphändig och både olja och PAH:er är en form av kolväten.

Vad gäller suspenderat material behöver man i princip alltid minska dessa halter för att nå upp till både ramdirektivets och riktlinjernas krav. Detta görs framförallt genom att låta vattnet

sedimentera och då behövs en större bassäng eller liknande där vattnets hastighet saktas ner så att partiklarna hinner sedimentera innan det rinner vidare ut i recipienten.

8.5 Arbetet på lokal nivå

8.5.1 NSVA

Inom NSVA har man tagit hänsyn till reningseffekten av dagvatten sedan tidigare vilken fanns med i dagvattenplanen redan 2006 (Augustsson, 2016). Detta visar att man tidigt arbetat aktivt med rening, ett exempel på detta är Mariastaden som byggdes för ca 10 år sedan.

Mariastaden är ett nybyggt område där man arbetat aktivt med dagvattenhantering från det att det byggdes. Där var man tydlig med att man dels skulle ha fördröjning, för att skydda en ravin i närheten som inte klarar höga vattenflöden, men även för att rena dagvatten. Man ville behålla vattenbalansen för att behålla infiltrationen till grundvattnet. Detta ses som ett lyckat projekt bestående av nio olika dammar samt svackdiken. Där är inga ledningar som leder dagvatten direkt till recipienten i detta område, endast dräneringsledningar i botten av dammarna. Många som passerar där idag tror att det är naturliga dammar och inte dagvattendammar (Augustsson, 2016).

Mariastaden är ett bra exempel på hur dagvattenhantering i städer kan se ut. Det renar och fördröjer vatten samtidigt som det tillför estetiska värden för människor i staden. I exemplet med Mariastaden har det visat sig att väldigt få ser det som ett ställe där vatten renas utan snarare uppfattas som en del i naturen.

Angående vilka ämnen man prioriterar att rena för så finns det inte någon direkt plan utan man utgår från Storm Tacs värden tillsammans med de provvärden man fick fram vid stickprovtagningarna. Man använder sig inte direkt av ramdirektivet för att välja ut vissa föroreningar utan man försöker arbeta brett för att släppa ut så friskt vatten som möjligt.

Inom NSVA arbetar man med både flöde och kvalitet och skulle gärna se fler lösningar i gatmiljö och bättre utnyttjande av stadsmarken. Man vill inte bara leda ner dagvatten i brunnar och vidare ut i havet utan att först ha renat det.

Augustsson (2016) tror att utbyggnaden av regnbäddar inom NSVA men också resten av Sverige kommer öka med tiden. Första gångerna tar alltid längst tid men det går enklare allt eftersom man lär sig mer (Augustsson, 2016).

8.5.2 VA SYD

VA SYD har arbetat mycket med dagvattenhantering och även med fokus på rening, dock var man i och med skyfallen i augusti 2014 tvungna att lägga extra resurser på skyfallshantering.

Angående vilka ämnen som finns i dagvattnet så utgår man framförallt från Storm Tacs värden. De säger sig ha störst problem med fosfor och kväve som kommer från den omkringliggande åkermarken, man väljer dock ändå att bygga regnbäddarna på Neptunigatan för just metaller. Visserligen är projektet ett forskningsprojekt men det hade varit intressant om de även valt att studera regnbäddar som en lösning på problemet med höga halter av kväve och fosfor. De har förvisso valt att sätta in ett vattenlås på den ena växtbädden, dock främst för växtlighetens skull och inte för kvävereduceringen. Intressant vore om man ändå valde att mäta kvävehalterna i de olika regnbäddarna för utgående vatten.

Inom VA SYD hoppas man att i framtiden kunna lägga mer resurser på rening och att detta får en högre prioritering i stadsmiljön.

8.5.3 Stockholm vatten AB

Stockholm vatten AB arbetar aktivt med rening av dagvatten sedan tidigare och har framförallt problem med förorening av fosfor, koppar och zink. Man arbetar för att öka antalet öppna dagvattenlösningar i staden men på grund av svårigheten att få marken att räcka till har man än så länge främst satsat på träd med omkringliggande skelettjord.

Stockholm stad satsar mycket på att få in grönska i stadsmiljön och om man samarbetade här skulle man kunna få in dagvattenlösningar också. En ytterliggare positiv effekt om man samarbetar är att växterna behöver vatten och då är det mer kostnadseffektivt i längden att man inte behöver åka ut och vattna (Vall, 2016).

Stockholm vatten AB utgår till viss del från Storm Tacs värden men gör själva många provtagningar för att kontrollera hur de ligger till.

8.5.4 Jämförelse av kommunalt arbete

NSVA har kommit längre i arbetet med att rena dagvatten än VA SYD. En anledning till detta kan vara att områden inom NSVA inte drabbats av lika svåra översvämningar som Malmö 2014 så att man därför inte behövt fokusera lika mycket på fördröjning utan även kunnat diskutera rening.

VA SYD däremot har stora problem med översvämningar i Malmöområdet och har därför varit tvungna att lägga mycket vikt vid det. Dock arbetar man nu aktivt för att även kunna satsa på rening av dagvatten.

Stockholm vatten AB har lagt mycket vikt vid dagvattenfrågan och reningen av dagvatten. Där är det stora problemet att detta behöver prioriteras som en tillräckligt viktig fråga för att få markyta att anlägga dagvattenlösningar på inne i staden.

Kommunerna inom NSVA samarbetar för att satsa på bra omhändertagande av dagvatten och NSVA ger direktiv för att lösa detta redan i projekteringsområdena. Detta gäller även VA SYD som dock påpekar att vad som är möjligt att göra i de olika kommunerna kan skilja sig åt något beroende på att varje kommun styrs styrs något olika och olika vikt läggs vid dagvattenfrågan (Hall & Johansson, 2016) vilket även gäller för NSVA.

8.5.5 Förslag på regnbädd

Nedan följer förslag på lämpliga filter och konstruktionsval för behoven i respektive kommun/ kommunalt bolag.

NSVA

Från figur 6.1 kan man avläsa att de fem största posterna av föroreningar i dagvattnet i Helsingborg är kväve, olja, fosfor, zink och koppar och de ämnen som enligt Pirzadeh et al (2015) visade på flest överskridanden vid stickprovstagningarna i förhållande till gränsvärdena för respektive ämne var zink, koppar och fosfor. Därför kan man anta att en regnbädd som renar bra för dessa fem ämnen, och i synnerhet zink, koppar och fosfor, vore bra i Helsingborgsområdet.

Ett förslag på lämpliga filter i en regnbädd är därför en kombination av furubarksflis och biokol. För att även minska kvävehalten vore det bra om förutsättningarna på platsen för anläggandet tillät att man gjorde en regnbädd typ 5 med vattenlås, se kapitel 3.2.

VA SYD

VA SYD har störst problem med föroreningar från omkringliggande åkermark och behöver därför främst rena för kväve och fosfor. Detta skulle man kunna göra genom att anlägga en regnbädd av typ 5, d.v.s. en regnbädd med inbyggt vattenlås för att öka denitrifikationen.

För att minska halterna av fosfor kan rostjord användas som filtermaterial då det renar bra för just fosfor.

Stockholm vatten AB

Stockholm vatten AB arbetar främst med att minska halterna av fosfor, koppar och zink i dagvattnet. Med det som bakgrund skulle en regnbädd innehållande filter av rostjord samt furubarksflis eller torv vara en bra lösning.

Rostjorden minskar kvävehalten medan furubarksflisen eller torven kan användas för att minska halterna av zink och koppar. Det som talar för att man väljer furubarksflis är att det finns studier som tyder på att furubarksflis är ännu effektivare än torv på att reducera koppar och zink enligt Blom & Skogsfjord (2006).

8.6 Framtiden

Med de förutspådda klimatförändringarna förväntas ökade regnmängder samt en omfördelning av regnet. Det förväntas regna mer under höst, vinter och vår, det vill säga under den tid som avdunstningen är som lägst. Intensiteten av regnet förväntas också öka. Detta kommer leda till ökad belastning på ledningar, översvämningar, ökning av reningsverkens bräddningar med utsläpp av orenat avloppsvatten samt ökat näringsutsläpp till hav och sjöar (Andersson, et al., 2013).

Med detta som bakgrund inser man att behovet av att kunna ta hand om regnvatten kommer öka med tiden. Då det även pågår en urbanisering där fler och fler flyttar in till städerna kan man också förvänta sig att utsläppen i städerna kommer öka. Detta i kombination med att marken i städer till stor del består av hårdgjorda ytor gör att behovet för regnbäddar eller andra liknande dagvattenlösningar troligtvis kommer öka.

En ytterligare effekt som klimatförändringarna förväntas bidra med är en höjd havsnivå. Detta medför även att vattennivåerna i vattendrag och sjöar ökar vilket i sin tur gör att recipienterna kan ha en bromsande effekt på utströmmande vatten (Andersson, et al., 2013). Detta ökar tiden för utströmmande vatten att sedimentera och på så sätt minskar föroreningarna i recipienten. Det finns även en risk att havet kommer längre in på det som idag är landyta och därmed minskar tiden för föroreningarna i vattnet kan sedimentera vilket i så fall ökar föroreningsgraden i recipienterna. Eventuellt kan man då tänka sig att de två effekterna kan ta ut varandra.

Om vattennivån höjs medför det också en risk för att översvämningar och i kombination med fler och intensivare regn ökar risken ytterligare eftersom vattendragen har mindre buffertkapacitet för att ta emot vatten.

Det förväntas även bli varmare under sommaren vilket kan leda till torrperioder som också kan ha stor påverkan på vattenkvaliteten (Andersson, et al., 2013). I och med de längre torrperioderna kan man tänka sig att nivån för vattnet sjunker under den tiden och i så fall har en positiv inverkan för översvämningensrisken. Detta medför dock även att det blir svårare att välja växter för regnbäddarna eftersom högre krav ställs på tåligheter vid extremare klimatförhållanden.

9 Slutsats

9.1.1 Filterval

I nyanlagda hårt trafikerade områden är filtermaterial med antingen torv eller furubarksflis att föredra. I områden där det under en längre tid har varit mycket trafik kan det vara bra att använda ett filter som även reducerar bly och då kan det lämpligen bestå av sand.

I områden med mycket bebyggelse är biokol det bästa och långsiktigt mest hållbara filtermaterialvalet. Det behövs vidare studier för att undersöka dess förmåga att reducera koppar men om man utgår från vad man tror idag så fungerar det bra.

I jordbrukslandskap är ett filter bestående av opoka att föredra då det renar för både kväve, fosfor och tungmetaller. Dock är kväve ett ämne som är svårt att bli av med men som effektivt minskar om denitrifikation möjliggörs. Därför bör regnbäddar som ska användas för att minska kvävemängden konstrueras med ett vattenlås som skapar en vattenmättad och syrefattig zon där denitrifikation kan fortgå.

Växtlighet har en generellt bra reduceringsförmåga för flera ämnen och bidrar till sedimentation av ämnen och därmed reduktion. Det har även positiva hälsoeffekter genom att reducera patogener i dagvattnet men ger också en bättre estetisk upplevelse.

9.1.2 Dagvattenplanering på kommunal nivå

NSVA jobbar aktivt med dagvattenfrågan och har även planer för hur det ska se ut i framtiden. De har en ungefärlig uppfattning om vilka föroreningar de har att arbeta med och reducera.

VA SYD arbetar också aktivt med dagvattenfrågan och fokus på rening kommer fram mer och mer, dock har man i framförallt Malmö ett stort behov av fördröjning varför det kommer fortsätta vara en stor del i deras arbete.

Stockholm vatten AB arbetar aktivt med reningsfrågan, dock är det oklart hur mycket de kommer kunna satsa på regnbäddar i gatumiljön på grund av platsproblem. De satsar dock på mindre lösningar såsom skelettjordar samt hoppas på ett utökat samarbete med parkförvaltningen.

10 Källförteckning

Alm, H., & Åström, A. (2014). *Kommunal dagvattenhantering- juridiska och finansiella aspekter*. Svenskt Vatten Utveckling.

Alm, H., Banach, A., & Larm, T. (2010). *Förekomst och rening av prioriterade ämnen, metaller samt vissa övriga ämnen i dagvatten*. Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling.

Andersson, J., Owenius, S., & Stråe, D. (2012). *NOS- dagvatten, Uppföljning av dagvattenanläggningar i fem Stockholmskommuner*. Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling.

Andersson, S., Bengtsson, L., Hall, K., Johansson, M., Persson, A., & Ratcovich, K. (2013). *Dagvattenstrategi för Lunds kommun*. Lund: Lunds Kommun.

Ashman, M. R., & Puri, G. (2002). *Essential Soil Science* (1 uppl.). Oxford: Blackwell Publishing.

Augustsson, S. (2016). *VA-ingenjör*. Intervju 29 juni: NSVA Helsingborg.

Augustsson, S., Björling, E., Hansen, H., Håkansson, P., Karlsson Green, M., Lindkvist, E., (2015). *Dagvattenplan Helsingborgs stad*. Helsingborg: NSVA.

Balbas, D., & Miakhel, D. M. (2012). *Removal of copper from stormwater runoff*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.

Bengtsson, F. (2003). *Rening av vatten från sorteringsplattan vid Hagby återvinningsanläggning*. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.

Blecken, G. (2016). *Kunskapsammanställning Dagvatten*. Nr. 2016-05, Svenskt Vatten Utveckling.

Blom, M., & Skogsfjord, M. (2006). *Naturliga filtermaterial för reduktion av metaller i dagvatten*. Västerås: Mälardalens Högskola.

Braskerud, B. C., Paus, K. H., & Ekle, A. (2013). *Anleggning av regnbed, En billedkavalkade over 4 anlagte regnbed*. Norges vassdrags- og energidirektorat.

Britannica, E. (2016). *Chemical precipitation*. Encyclopaedia Britannica.

Carlsson, J., & Persson, J. (2006). *Erosion och erosionskydd i vattenmiljöer*. Alnarp: SLU.

CIRIA. (2015). *The SuDS Manual*. London.

Dagvattenguiden. (2016). *Vad är dagvatten?* Uppsala: VA-guiden AB.

Davis, A. P., & Li, J. (2016). A unified look at phosphorous treatment using bioretention. *Water Research*, 90, 141-155.

Davis, A. P., Mohammad, S., Himanshu, S., Christie, M., & Derek, W. (2003). Water Quality Improvement through Bioretention: Lead, Copper and Zinc Removal. *Water Environment Research* , 75 (1), 73-82.

Directive 2013/39/EU of the European Parliament and of the Council amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy

Ekman, T. (2014). *Handlingsplan för rening av dagvatten från hårt trafikerade gator i Örebro*. Uppsala: Uppsala Universitet.

Eliasson, S. (2013). *Rain gardens i staden- att välja rätt växter för tillfälligt torra och våta miljöer i Göteborg*. Alnarp: Sveriges Lantbruksuniversitet.

Ellervik, U., & Sterner, O. (2004). *Organisk kemi* (1 uppl.). Lund: Studentlitteratur.

Färm, C. (2003). *Rening av dagvatten genom filtrering och sedimentation*. Stockholm: VA-FORSK.

FAWB (2009). *Stormwater biofiltration systems. Adoption Guidelines. Planning, Design and Practical Implementation*. Version 1, June 2009. FAWB, Facility for Advancing Water Bio-filtration.

Finlex. (2006). *Statsrådets förordning om avloppsvatten från tätbebyggelse*. Finland: Finlex, miljöförvaltningen.

Fridell, K. (2015). *Regnbäddar tar hand om dagvatten med filtersubstrat och vegetation*. Movium Fakta, SLU.

Fuerhacker, M., Haile, T. M., Monai, B., & Mentler, A. (2011). Performance of a filtration system equipped with filter media for parking lot runoff treatment. *Desalination* , 275, 118-125.

Giovich, W. (2016). *VA-tekniker*. Mailkontakt 11 juli: WSP Växjö.

Hall, K., & Johansson, S. (2016). Intervju. Malmö: VA SYD.

Klimatanpassningsportalen. (2015). *Regnrabater i Göteborg*. Göteborg: Nationellt centrum för klimatanpassning.

Länsstyrelsen. (2016). *Sedimentationsdammar, Svärtaåprojektet*. Länsstyrelsen Södermanland.

Li, H., & Davis, A. P. (2008). Heavy Metal Capture and Accumulation in Bioretention Media. *Environmental Science Technology* , 42, 5247-5253.

Lindfors, T., Bodin- Sköld, H., & Larm, T. (2014). *Grågröna systemlösningar för hållbara städer*. Vinnova, Sweco.

Mangold, N., Olsson, B., & Bick, E. (2014). Koppartak- värdefullt kulturarv utan miljöbelastning med filter på avrinningen. *Rent Dagvatten* .

- Milán, Z., de Las Pozas, C., Cruz, M., Borja, R., Sánchez, E., Ilangovan, K., (2001). The Removal of Bacteria by Modified Natural Zeolites. *Journal of Environmental Science and Health* , A36 (6), 1073-1087.
- Melbourne Water., (2016). *What is a raingarden?*, hämtad 2016-09-01. <http://www.melbournewater.com.au/getinvolved/protecttheenvironment/raingardens/pages/what-is-a-raingarden.aspx>
- Muthanna, T. M., Viklander, M., & Thorolfsson, S. T. (2008). *Seasonal climatic effects on the hydrology of a rain garden. Hydrological processes* , 1640-1649.
- Muthanna, T. M., Viklander, M., Gjesdahl, N., & Thorolfsson, S. T. (2007). Heavy Metal Removal in Cold Climate Bioretention. *Water, Air and Soil Pollution* , 391-402.
- Nationalencyklopedin. (2016). *Kapillärkraft*. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/kapillärkraft>.
- Naturvårdsverket. (2008). *Övervakning av prioriterade miljöfarliga ämnen listade i ramdirektivet för vatten*. Bromma: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. (2009). *Utsläpp i siffror, Naftalen*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Norconsult. (2011). *Angered's torg, Dagvattenutredning till detaljplan*. Göteborg: Göteborgs Stad Stadsbyggnadskontoret.
- NoSSS. (2016). *Adsorption*. Online. Hämtad 2016-08-23 <http://www.nosss.se/adsorption.html>
- NSVA. (2016). *Dagvattenpolicy*. Helsingborg: NSVA.
- NSVA. (2015). *Dagvattenprogram Helsingborgs stad Dagvattenpolicy NSVA*. Helsingborg: NSVA.
- NSVA. (2016a). *Om NSVA*. Helsingborg: NSVA.
- Pirzadeh, P., Nihlen, C., & Kylvä, M. (2015). *Dagvatten i Helsingborgs stad- En undersökning av miljöfarliga ämnen*. Malmö: Länsstyrelsen Skåne.
- Prop 05/06:78 s 44, Regeringen
- RentDagvatten. (2016). *EU direktivet, Ramdirektivet för vatten*.
- Ribé, W., Nehrenheim, E., Carlsson, P., Eneroth, P., Odlare, M., & Berglind, R. (2013). *Comparative study of five filter types for stormwater treatment: using a whole effluent assessment approach to evaluate filter performance*.
- Söderberg, J. (1 2011). EU:s ramdirektiv för vatten och dagvattenförorening- Klarar Sverige kraven? *Nordisk miljörettslig tidsskrift* , ss. 3-28.
- Stahre, P. (2007). *Dagvattenstrategi för Malmö*. Malmö: Malmö Stad.

Statens naturvårdsverks författningssamling SNFS 1994:7 MS:75 av den 19 oktober 1994 om föreskrifter om Kungörelse med föreskrifter om rening av avloppsvatten från tätbebyggelse.

StormTac. (2016). *Added land specific standard concentrations*. Storm Tac.

StormTac. (2016). *Overview*. StormTac.

StormTac. (2016). *Vattendirektivets 33 prioriterade ämnen*.

Svensson, C., & Ledskog, A. (2016). *Affärsplan 2016-1019*. Malmö: VA SYD.

Svensson, G., Ljunggren, O., & Bäckman, H. (2016). *Avledning av dag-, drän-, och spillvatten, Publikation P110*. Stockholm: Svenskt Vatten.

Svenstrup, A. (2012). *Dagvattenhantering med "Rain Garden"*. Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet.

Sylvén, L. (2004). *Föroreningar som riskerar att hamna i dagvatten*. Mariestad: Mariestads Kommun.

Vall, E. (2014). *Dagvattenstrategi*. Stockholm: Stockholm vatten AB.

Vall, E. (2015). *Dagvattenstrategi, Stockholms väg till en hållbar dagvattenhantering*. Stockholm: Stockholm Stad.

Vall, E. (2016). Telefonintervju. Stockholm: Stockholm vatten AB.

Wang, J., Zhang, P., Yang, L., & Huang, T. (2016). Cadmium removal from urban stormwater runoff via bioretention technology and effluent risk assessment for discharge to surface water. *Journal of Contaminant Hydrology* (185-186), 42-50.

VASYD. (2016). Om VA SYD. Malmö: VA SYD.

Wellander, Å. (2015). *Systembeskrivning av regnbäddar- Från ståndortsbeskrivning till växtfysiologiska och morfologiska egenskaper*. Alnarp: SLU.

Williams, N., Lundholm, J., & Scott MacIvor, J. (2014). Do green roofs help urban biodiversity conservation? *Journal of Applied Ecology*, 51 (6), 1643-1649.

Wiström, F. (2014). *Biochar as soil amendment in flow-through planters*. Alnarp: SLU.

Yara. (2016). *Kväveformer och kvävegödselmedel*. Landskorna: Yara växtnäring.