



Minska näringsläckage från regnbäddar och säkerställa etablering av vegetation

Jessica von Matérn

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning
Landskapsingenjörsprogrammet
Alnarp 2024



Minska näringsläckage från regnbäddar och säkerställa etablering av vegetation

Reduce nutrient leaching from rain beds and ensure establishment of vegetation

Jessica von Matérn

Handledare: Anders Folkesson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Examinator: Frida Andreasson, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Omfattning: 15

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i Landskapsarkitektur, Landskapsingenjörsprogrammet

Kurskod: EX0841

Program/utbildning: Landskapsingenjörsprogrammet

Kursansvarig inst.: Institutionen för Landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2024

Upphovsrätt: Alla bilder som inte tillhör författaren används med upphovspersonens tillstånd.

Nyckelord: Dagvattenhantering, regnbäddar, biofilter, näringsläckage, filtermaterial, vegetationsetablering,

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Förord

Detta kandidatarbete skrevs vårterminen 2024 under sista året inom landskapsingenjörsprogrammet på SLU, Alnarp. Jag vill rikta ett stort tack till min handledare, Anders Folkesson som har hjälpt och stöttat mig under arbetets gång. Jag vill även tacka Tim Delshammar på VA Syd som föreslog att skriva om detta intressanta ämne. Jag vill också tacka samtliga informanter, Elin Normann Bjarsell, Sofia Westergren och Sara Lindman som tog er tid att besvara mina frågor. Sist vill jag tacka mina nära och kära som visat ett stort stöd under hela processen.

Sammanfattning

Urbanisering ökar förtätningen i staden och det blir allt fler hårdgjorda ytor som gör att vatten inte kan infiltrera. Det har skapat en större belastning på ledningsnätet eftersom avrinningen har ökat. Regnbäddar används för att avlasta ledningsnätet genom att fördröja dagvatten men även för att rena dagvatten från olika föroreningar som det för med sig. Ett nettoläckage av näringsämnen vid ett inledande skede har dock observerats från regnbäddar vilket bidrar till vidare övergödning av sjöar och hav. Nettoläckaget tros bero på näring som tillförts för att säkerställa etablering av vegetation. Denna litteraturstudie har haft för avsikt att undersöka olika utformningar av regnbäddars- och olika filtermaterials förmåga att säkerställa etablering av vegetation och samtidigt bidra till en rening av dagvatten. Studien tar även hänsyn till den ståndort som förekommer i regnbäddar och redovisar vilken vegetation som lämpar sig för det. Studien har undersökt filtermaterialen sand, lera, biokol och pimpsten och dess reningseffekt. Det kan konstateras att olika substrat bör användas för rening av olika näringsämnen och att ett substrat med låg infiltrationskapacitet är fördelaktigt för både rening av dagvatten och vegetationen. Vegetationen har en viktig roll i rening av näringsämnen. Växtval bör därför anpassas efter regnbäddens specifika ståndort så att vegetation inte lider av stress, vilket annars kan påverka reningseffekten och etablering.

Nyckelord: Dagvattenhantering, regnbäddar, biofilter, näringsläckage, filtermaterial, vegetationsetablering,

Abstract

Urbanization increases densification in the city which has increased the amount of hard surfaces that prevent water from infiltrating. This has created a greater load on the pipeline network because the runoff has increased. Rain beds are used to relieve the pipeline network by delaying stormwater but also to clean stormwater from various pollutants that it carries. However, a net leakage of nutrients at an initial stage has been observed from rain beds, which contributes to further eutrophication of lakes and oceans. The net leakage is believed to be caused by nutrients being added to ensure establishment of vegetation. This literature study has intended to investigate different designs of rain beds and different filter material's ability to ensure the establishment of vegetation and at the same time contribute to the purification of stormwater. The study also takes into account the habitat that occurs in rain beds and presents which vegetation is suitable for it. The study has examined the filter materials sand, clay, biochar, and pumice stone and their purification effects. It can be concluded that different substrates should be used for the removal of different nutrients and that a substrate with low infiltration capacity is beneficial for both stormwater treatment and vegetation. Vegetation plays an important role in the removal of nutrients. Therefore, plant selection should be adapted to the specific site conditions of the rain garden so that the vegetation does not suffer from stress, which could otherwise affect the purification efficiency and establishment.

Keywords: Stormwater management, rain beds, biofilters, nutrient leaching, filter bed substrate, vegetation establishment

Innehållsförteckning

Förord	3
Tabellförteckning	6
Figurförteckning	7
Begreppslista	8
Bakgrund/problembeskrivning	9
Syfte och frågeställning/hypotes	11
2.1 Syfte	11
2.2 Mål	11
2.3 Frågeställningar	11
Material och metod	12
Genomförande och avgränsning	13
Resultat	14
5.1 Regnbäddens funktion	14
5.2 Utformning regnbädd	14
5.2.1 Fem olika grundkonstruktioner	15
5.2.2 Denitrifikation och nitrifikation	17
5.3 Substrat	18
5.3.1 Balansen mellan infiltration och rening	19
5.3.2 Sand	19
5.3.3 Lera	20
5.3.4 Kompost	20
5.3.5 Alternativa filtermaterial	21
5.4 Vegetation	22
5.4.1 Etablering	24
5.5 Vidare skötsel	25
5.5.1 Bör borttag av organiskt material eller kolkällor prioriteras?	26
Diskussion	27
6.1.1 Metoddiskussion	28
6.1.2 Vidare studier	28
Slutsats	29
Referenser	30

Tabellförteckning

Tabell 1. Litteratursammanställning utförds av (Muerdter et al. 2018) av växtarter som påvisat en effektiv rening av TN (total kvävehalt) och TP (total fosforhalt)24

Figurförteckning

Figur 1. Regnbädd typ 1 (Folkesson 2018).....	15
Figur 2. Regnbädd typ 2 (Folkesson 2018).....	15
Figur 3. Regnbädd typ 3 (Folkesson 2018).....	16
Figur 4. Regnbädd typ 4 (Folkesson 2018).....	16
Figur 5. Regnbädd typ 5 (Folkesson 2018).....	17

Begreppslista

Recipient	Vattendrag, sjö eller hav, dit dagvatten rinner.
Hydraulisk konduktivitet	Ett mått på jordens förmåga att släppa igenom vatten.
Sedimentering	När fasta partiklar i en vätska sjunker till botten.
Adsorption	Partiklar som kemiskt binds till ett materials yta.
Absorption	Material tar upp partiklar genom dess porösa struktur.
Nitrifikation	Bakteriell omvandling av ammonium eller ammoniak till nitrat och nitrit.
Denitrifikation	Bakteriell omvandling av nitrat till kvävgas.
Aerob miljö	Syrerik miljö
Anaerob miljö	Syrefattigmiljö
TN	(”Total nitrogen”): totala koncentrationen kväveföreningar.
TP	(”Total phosphorous”): totala koncentrationen fosforföreningar.
Laddad biokol	Biokol laddad med näring.
Oladdad biokol	Biokol utan tillförd näring.

Bakgrund/problembeskrivning

Kraftiga regn har blivit allt vanligare på grund av fortsatta klimatförändringar (Ioan et al. 2021). Andelen hårdgjorda ytor som tak och vägar har ökat i städerna på grund av förtätning, vilket har minskat möjligheten till infiltration av dagvatten och därmed ökar risken för översvämningar (Sörensen et al. 2016). Dagvatten leds istället ned i ledningsnätet men ledningsnätet kan överbelastas vid större volymer (Ioan et al. 2021).

För att hantera större nederbördsmängder och avlasta ledningsnätet kan dagvatten avledas till regnbäddar som fördröjer dagvatten (Haghighatafshar et al. 2018). Regnbäddar kan användas för att fördröja avrinning längs gator genom både magasinering och vegetation (Sörensen et al. 2016).

När dagvatten rinner längs vägar tar det med sig näringsämnen, tungmetaller och andra partiklar från marken. Om dagvattnet inte renas innan det släpps ut från ledningsnätet kan det påverka recipientens ekosystem (Länsstyrelsen 2018). Ett överskott av näringsämnen (framför allt kväve och fosfor) i hav och sjöar orsakar övergödning. Det leder nämligen till en ökad tillväxt av alger och kärllväxter som resulterar i grumligare vatten och syrefria bottnar när de sedan bryts ner. Detta kan med tiden leda till att vattenlevande organismer flyr eller dör på grund av syrebrist. Det är något som blir extra påtagligt i till exempel Östersjön där det inte sker en större cirkulation av vattenmassa som kan tillföra nytt syrerikt vatten till bottnarna (SMHI 2023). Regnbäddar kan rena dagvatten från både näringsämnen, tungmetaller och andra partiklar som dagvatten tar med sig genom sedimentation men även genom vegetationen i regnbäddar. Vegetation kan ta upp de partiklar som inte sedimenterar (Blecken 2016).

För att vegetationen i anläggningen ska kunna etablera sig ordentligt tillsätter man ofta någon form av kompost (Kranz et al. 2022;Larm & Blecken 2019). Det rekommenderas inte att gödsla regnbäddar om de ska bibehålla sin renande effekt och minska näringsläckage (Larm & Wahlsten 2017). Resultatet av studier som genomförts tyder på att tillförd näring i form av kompost bidrar till ökat näringsläckage av kväve och fosfor från regnbäddar (Larm & Wahlsten

2017;Larm & Blecken 2019). Detta är även något som VA Syd har identifierat och anledningen till att det här kandidatarbetet skall genomföras.

Syfte och frågeställning/hypotes

2.1 Syfte

Syftet med arbetet är att undersöka hur regnbäddar ämnade att rena dagvatten kan optimeras för att garantera etablering av vegetationen och samtidigt minimera näringsläckage.

2.2 Mål

Målet med arbetet är att fokusera på rening av näringsämnena, kväve och fosfor med hjälp av olika utformningar av regnbäddar, substrat, vegetation och underhåll. Arbetet har valt att fokusera på rening av dagvatten med hjälp av substraten, sand, lera, biokol och pimpsten.

2.3 Frågeställningar

På vilka sätt kan näringsläckage från regnbäddar under dess drift minimeras?

Vad finns det för olika etableringstekniker för vegetation i regnbäddar?

Hur skiljer sig olika växtarters näringsbehov åt under etableringen?

Hur kan olika substrat i regnbäddar minska näringsläckage och gynna vegetationens etablering?

Material och metod

Syftet med arbetet initierades av VA Syd som genom litteraturstudier ville få en större inblick inom ämnet, minska näringsläckage från regnbäddar och samtidigt säkerställa etablering av vegetationen. Arbetets frågeställningar besvarades med en litteraturstudie. Litteraturstudien genomfördes genom att söka efter relevant underlag på databaserna Web of Science, Google Scholar och Scopus. Några av de relevanta nyckelord som har använts vid sökning av underlag är "rain garden*", "stormwater management*" och "stormwater treatment*" som kombineras med nyckelorden "compost*", "nutrient*", "fertilizer*", "vegetation*", "plant*", "leach*" och "leaks". För att få en bredare sökning har även dessa nyckelord översatts till svenska. Litteraturstudien har använt underlag från vetenskapliga artiklar men även icke-akademiska källor, till exempel rapporter från branschorganisationen Svenskt Vatten för att få ett bredare perspektiv. Inhämtning av underlag har även gjorts från olika myndigheters webbsidor och kurslitteratur som använts under tidigare kurser inom landskapingenjörsprogrammet på SLU, Alnarp.

Nya artiklar har hittats vid läsning av källhänvisningar i de inledande artiklarna vid litteraturstudien. Framför allt har tidigare kandidatarbeten som skrivit ett arbete inom samma område använts för att hitta nya relevanta artiklar. För att få en bredare inblick i branschen har en intervju med en landskapsarkitekt, en civilingenjör med inriktning vatten och avdelningschefen på samhällsutförning region syd på WSP i Malmö genomförts.

Genomförande och avgränsning

Arbetet kommer inte att behandla skelettjordar eller gröna tak. Arbetet kommer inte ge förslag på växtarter som kan växa i regnbäddar och kommer inte behandla rening av metaller

Resultat

5.1 Regnbäddens funktion

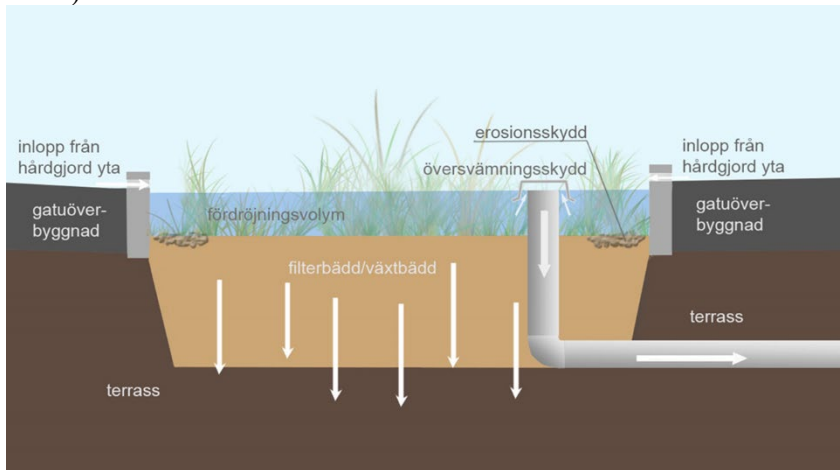
Regnbäddar, även benämnda biofilter eller rain gardens, har blivit en alltmer vanlig dagvattenlösning. Fridell & Jergmo (2015:4) definierar en regnbädd enligt följande: “En regnbädd/biofilter kan definieras som en vegetationsbeklädd markbädd med fördröjningszon för infiltrering och behandling av dagvatten.”. Regnbäddens funktion är oftast att både rena och fördröja dagvatten, men en regnbädds primära funktion kan skilja sig åt beroende på projekt och beställare (Normann Bjarsell et al. 2024). Vegetationen och substratet i en regnbädd renar dagvatten genom olika kemiska, mekaniska och biologiska reningsprocesser när dagvattnet infiltrerar bädden (Fridell & Jergmo 2015).

5.2 Utformning regnbädd

Dagvatten leds in i regnbäddar via inlopp och beroende på inloppets konstruktion, leds det in olika stora flöden dagvatten (Larm & Blecken 2019). Inloppen är ofta försedda med erosionsskydd för att minimera erosionsrisken i regnbädden som annars kan förekomma vid större flöden (Hunt et al. 2012). Regnbäddens substrat, även kallat filtermaterial, ska kunna fördröja och rena dagvatten. Det ska även vara ett lämpligt växtsubstrat som kan förse växttillgängligt vatten, hålla kvar och tillföra näring till vegetationen samt förankra vegetationens rotsystem (Skog et al. 2023). Filtermaterialet ska även vara tillräckligt dränerande för att det inte blir stående vatten i anläggningen. En regnbädd är försedd med ett breddavlopp som är kopplat till en utloppsledning som är ansluten till ledningsnätet. Breddavloppets funktion är att leda bort överskottsvatten från regnbädden på ett säkert sätt (Larm & Blecken 2019). Fördröjningszonen i en regnbädd ligger mellan filtermaterialet och bräddavloppet och zonens tjocklek avgör hur mycket dagvatten som kan ansamlas i bädden (Fridell & Jergmo 2015). För att så mycket dagvatten som möjligt ska kunna renas är en förutsättning att bräddavloppet placeras högre upp då det ger mer tid för dagvattnet att infiltrera i bädden. (Larm & Blecken 2019).

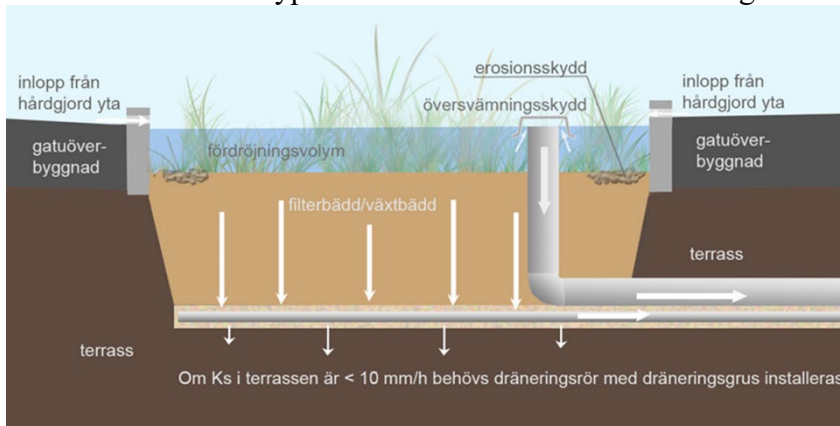
5.2.1 Fem olika grundkonstruktioner

Regnbäddar brukar kategoriseras som fem olika typer av grundkonstruktioner. Något som de 5 grundkonstruktionerna har gemensamt är att det finns inlopp, erosionskydd, bräddavlopp, fördröjningszon, filtermaterial och ett avvattnande system. Det som skiljer dessa konstruktionslösningar åt är hur de hanterar avvattningen av regnbädden med olika avvattnande system (Fridell & Jergmo 2015).



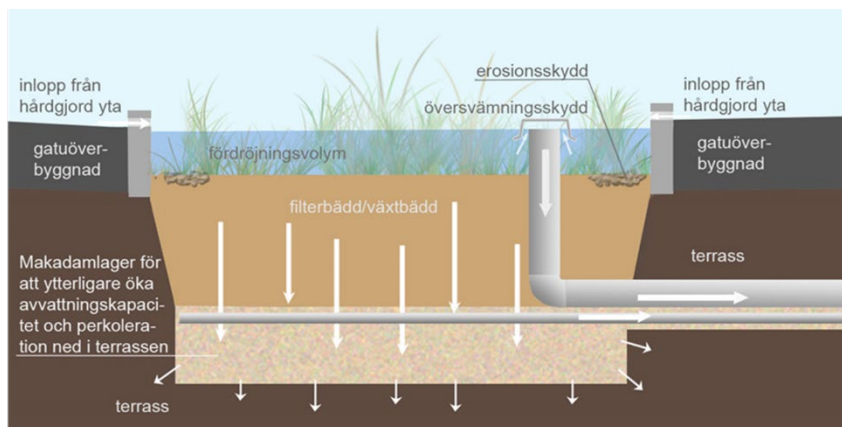
Figur 1. Regnbädd typ 1 (Folkesson 2018)

Regnbädd typ 1 är inte försett med något avvattningsystem, det är tänkt att dagvattnet ska dräneras via terrassen vilket ställer krav på hög genomsläpplighet av terrassen. Denna typ av konstruktion har kontakt med grundvattnet (ibid).



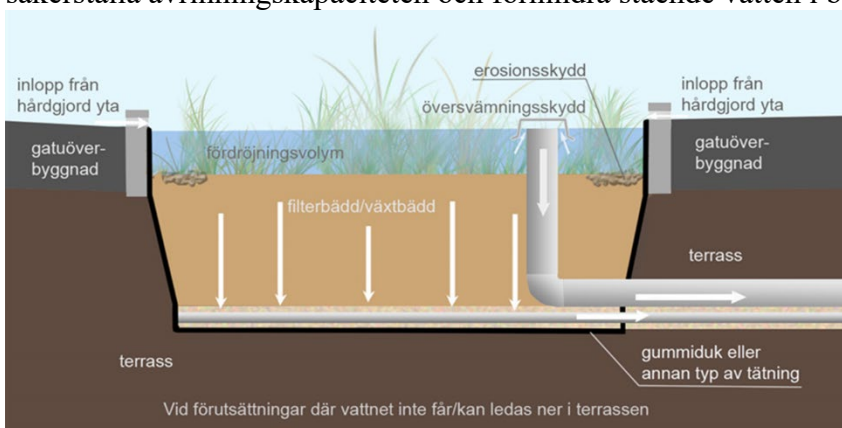
Figur 2. Regnbädd typ 2 (Folkesson 2018)

Regnbädd typ 2 är försedd med en dräneringsledning för att uppnå önskad avvattningskapacitet och hindra att vatten blir stående i bädden. Även denna konstruktionstyp har kontakt med grundvattnet (ibid).



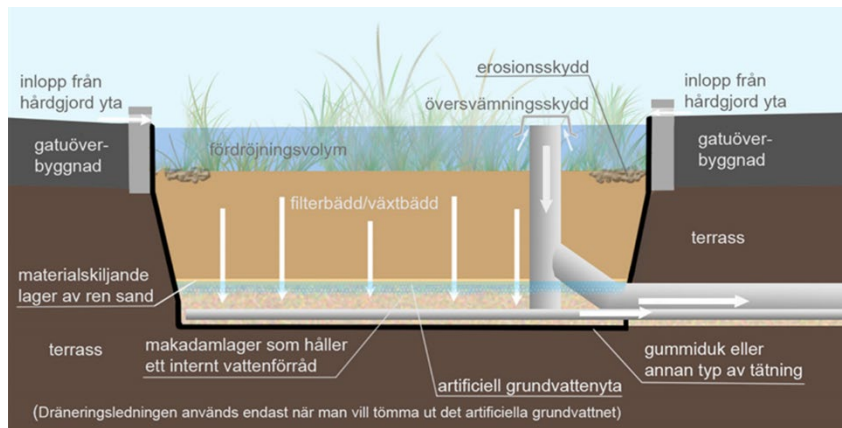
Figur 3. Regnbädd typ 3 (Folkesson 2018)

Regnbädd typ 3 är försedd med ett makadamlager ovanför terrassen som skapar en fördröjningszon under växtjorden. Makadamlagret skapar ett kapillärbrytande skikt som gör att det tar längre tid för dagvattnet att dräneras ner via terrassen. Det kapillärbrytande skiktet gör även att bädden inte har någon kontakt med grundvattnet. I ovankant av makadamlagret finns en dräneringsledning för att säkerställa avrinningskapaciteten och förhindra stående vatten i bädden (ibid).



Figur 4. Regnbädd typ 4 (Folkesson 2018)

Regnbädd typ 4 är försett med en tät duk under makadamlagret och dräneringsledningen som också går upp på regnbäddens kanter. Den täta duken hindrar föroreningar från dagvattnet eller omgivande mark att spridas till i grundvattnet (ibid).



Figur 5. Regnbädd typ 5 (Folkesson 2018)

Regnbädd typ 5 är precis som typ 4 försedd med en tät duk i botten av bädden men typ 5 har även ett vattenlås som gör att vatten hålls kvar längre i anläggningen. Vattenlåset ökar vattentillgången till vegetationen samt reningseffekten i bädden då uppehållstiden blir längre. Det kan vara optimalt att använda denna typ av regnbädd i ett område som förväntas få långa perioder av torka under sommaren eller där bara ett tunt lager växtjord kan användas (ibid).

5.2.2 Denitrifikation och nitrifikation

Regnbäddar är ofta torra eftersom substratet är väl-dränerat vilket främjar aeroba förhållanden som leder till nitrifikation istället för denitrifikation. Detta ökar mängden nitrat som kan läcka ut från regnbäddar. Denitrifikation omvandlar nitrat till kvävgas och minskar därmed andelen kväve som kan läcka ut från regnbäddar (Shetty 2018). För att denitrifikation ska vara möjligt i regnbäddar behöver det förekomma anaeroba förhållanden. Detta skulle kunna åstadkommas genom att skapa en vattenmättad zon i regnbäddar och således gynna denitrifikationsbakterier som i sin tur främjar denitrifikationsprocessen (Fridell & Jergmo 2015).

Genom att höja nivån för utloppet i en regnbädd skapas en vattenmättad zon i filtrets botten. Regnbädd typ 5 är lämplig för att rena kväve på grund av dess vattenhållande förmåga som ger en fluktuerande aeroba/anaeroba miljö i botten av bädden (ibid). Det rekommenderas att kombinera en vattenmättad zon med en kolkälla för att förbättra reduktionen av kväve eftersom kol förbrukas under denitrifikationen. Kolkällan kan till exempel vara en tillsats av tidningspapper, halmstrån och sågspån. Så småningom kan även nedbrutet organiskt material från vegetationen i bädden bistå med tillräckligt mycket kol till denitrifikationsprocessen (Blecken 2010; Zinger et al. 2013). Att ha stående vatten i en regnbädd kan även innebära att bädden inte kan ta emot lika mycket

dagvatten vilket skulle kunna leda till att reningen av näringsämnen överlag minskar (Shetty 2018). Vattenmättade zoner i regnbäddar kan medföra problem för vegetationen i regnbäddar som inte tar upp näring lika effektivt vid blöta förhållanden då växter behöver syre för att kunna ta upp näring (Sjöman et al. 2015).

Många regnbäddar har visat sig kunna rena dagvatten från ammonium men även visat ett större utsläpp av nitrat och nitrit än vad dagvattnet innehållit innan det passerat regnbädden. Förklaringen till detta skulle kunna vara att ammonium omvandlas till nitrat och nitrit genom nitrifikation vilket kan förklara den ökade mängden nitrat och nitrit (Shrestha et al. 2020).

5.3 Substrat

Regnbäddens filtermaterial kan rena dagvatten genom sedimentering, adsorption och absorption när dagvattnet filtreras genom bädden. Regnbäddens filtermaterial fördröjer dagvatten innan det leds vidare till ledningsnätet (Fridell & Jergmo 2015). I regnbäddar föreskrivs ofta grov sand som filtermaterial eftersom att den har en hög infiltrationskapacitet (Blecken 2016; Fridell & Jergmo 2015). Det finns ofta krav på hur länge dagvatten får fördröjas i en regnbädd, normalt sätt brukar det vara 12-24 timmar, maximalt 48 timmar (Normann Bjarsell et al. 2024). Anledning till detta är att regnbädden ska kunna fördröja nästkommande regn (ibid)

Om substrat med nollfraktion eller finare fraktioner används i en regnbädd kan det orsaka igensättning av regnbädden vilket kan begränsa regnbäddens infiltrationskapacitet. Föroreningar binder sig lättare till finare fraktioner och kan tillsammans med de finare fraktionerna ledas ner genom regnbädden och ut genom utloppet (Larm & Wahlsten 2017).

För att föroreningar ska hinna binda sig till substratet krävs en tillräckligt lång kontakttid med substratet innan dagvattnet leds vidare till ledningsnätet. Ett substrat med en större fraktion har en sämre reningsförmåga än substrat med en mindre fraktion på grund av att kontakttiden blir kortare (Blecken 2016; Skog et al. 2023).

Olika slags filtermaterial binder till sig olika mycket vatten och näring. Förklaringen till detta är att olika filtermaterial har olika stora bindningsarea per volymenhet beroende på dess kornstorlek (Slagstedt et al. 2015). Till exempel har ett grövre substrat med en större kornstorlek en mindre adsorptionsförmåga

(Blecken 2016). Det leder till att regnbäddar inte har en lika god vatten- och näringshållande förmåga som vanliga växtbäddar. Jorden i regnbäddar behöver ha större porer för att den ska vara väl-dränerad. Det leder till att den släpper ifrån sig vatten och näring vid ett lägre tryck än vanliga växtbäddar som ofta har mindre porer (Slagstedt et al. 2015). Anledningen till att substrat med större porstorlekar föreskrivs i regnbäddar är för att det ofta finns ett krav att substratet ska dränera bort vatten snabbt (Fridell & Jergmo 2015). Vegetationen i regnbäddar behöver därmed klara av näringsfattiga förhållanden och längre torrperioder men även kortvariga våta förhållanden i bädden (Blecken 2016).

5.3.1 Balansen mellan infiltration och rening

En regnbädd med både en hög reningseffekt och samtidigt en god infiltrationsförmåga är något som är svårt att kombinera (Folkesson 2023). Dagvattnet behöver fördröjas tillräckligt länge för att föroreningarna ska hinna binda sig till filtermaterialet (Blecken 2016; Skog et al. 2023).

Vegetationen har även en central roll i reningen av näringsämnen och det är därmed viktigt att den mår bra (Read et al. 2008). Filtermaterialet behöver därför ha en tillräckligt låg infiltrationkapacitet för att erhalla växttillgängligt vatten och näring till vegetationen för att den ska kunna överleva (Skog et al. 2023). I första hand bör dock växter som klarar näringsfattiga och långa torrperioder med korta våta perioder väljas (Blecken 2016). När regnbädd typ 5 (figur 6) används för kväverening resulterar det i att dagvatten därmed inte kan dräneras ner till grundvattnet (Fridell & Jergmo 2015).

5.3.2 Sand

Sand som substrat används ofta i regnbäddar på grund av dess dränerande förmåga som är en viktig egenskap i en regnbädd (Blecken 2016; Fridell & Jergmo 2015). Nackdelen med att använda sand som filtermaterial är att det är en ändlig resurs till skillnad från till exempel biokol eller krossmaterial (Skog et al. 2023). Sandfilter renar framför allt föroreningar genom fysikaliska processer och partikelavskiljning, föroreningar adsorberas av sandpartiklarna (Färm 2003). Studier har visat att sandfilter främst renar partikelbundna föroreningar. Ett finare sandfilter med en mindre kornstorlek kan rena dagvatten från finare partiklar än ett sandfilter med en grövre sand som istället kan ta emot större vattenflöden på grund av dess högre hydrauliska konduktivitet (Färm 2003). Sandfilter är ett väldigt luftigt växtsubstrat som inte kan tillgodose vegetationen med mycket växttillgängligt vatten eller näring. Det finns dock flera växter som kan växa i

sand och växternas rotsystem kan minska risken för sand att erodera. Om sand används som substrat i en regnbädd är det vanligt förekommande att det sker nitrifikation i jorden, orsaken till detta är att sandjordar har främst luftfyllda porer vilket gynnar nitrifikationsprocessen. Sandjordar är därmed inte bra kväverenare (Ulrich et al. 2017).

5.3.3 Lera

Lera har goda reningsegenskaper eftersom det har en bra näringshållande förmåga på grund av dess små porer och kornstorlek. Detta innebär dock att lera har en sämre infiltrationskapacitet och därmed en lång tömningstid, vilket kan leda till att vegetation i en växtbädd med hög lerhalt kan lida av syrebrist (Fridell & Jergmo 2015). Lera är ofta olämplig som substrat i regnbäddar eftersom många regnbäddar tar emot dagvatten med mycket salt från halkbekämpning. Saltet kan förstöra lerjordens struktur vilket kan resultera i att jordens porer täpps till. Detta leder till att dagvatten inte längre kan infiltrera bädden och blir stående i anläggningen (Skog et al. 2023).

5.3.4 Kompost

Att tillsätta kompost i regnbäddar har blivit alltmer förekommande. Kompost tillsätts i regnbäddar för att säkerställa etableringen av vegetation i regnbäddar eftersom substratet i regnbäddar ofta har en dålig näringshållandeförmåga. Andelen kompost som brukar rekommenderas är ungefär 0-30%. Det har konstaterats att kompost kan orsaka ett utökat näringsläckage av fosfor och kväve som urlakas med tiden när komposten bryts ner (Larm & Blecken 2019). Trots det har de flesta "regnbäddssubstrat" som leverantörer säljer kompost i sig. Om syftet med en regnbädd är att rena dagvatten rekommenderas det inte att tillsätta någon form av kompost eller annan näring eftersom det kan orsaka ett nettoläckage av näringsämnen. Larm & Wahlsten (2017) drar de slutsatsen att den näring som dagvatten tillför anses tillräcklig för vegetationen. En studie som utfördes vid en mjölkgård planterades *Panicum virgicum* i två regnbäddar, en utan kompost och en med kompost med en låg koncentration av fosfor. I bädden med kompost var vegetationen frodigare under första året av etableringen till skillnad från växtbädden utan kompost. Skälet till detta kan vara att kompost har en god vatten- och näringshållande förmåga vilket lett till att vegetationen har tillgång till vatten och näring under en längre tid än bädden utan kompost. Studien visade dock att tillförsel av kompost inte har någon större effekt på vegetationens överlevnad och att bädden utan kompost blev frodigare efter några år, men det tog längre tid (Shrestha et al. 2020).

Balansen mellan rening och estetik

Regnbäddar som är ämnade att rena dagvatten bör inte använda kompost eller annat organiskt material trots att det gynnar vegetationen eftersom näringsläckaget blir större (Larm & Wahlsten 2017). Att utesluta kompost från dessa anläggningar som redan har en dålig näringshållande förmåga gör att vegetationen tar längre tid att etablera sig och bli frodig och tillför därmed inte ett lika stort estetiskt värde de första åren (Read et al. 2008). Det är något som kan påverka människans välmående då grönska kan påverka människans mentala och fysiska hälsa både direkt och indirekt (Boverket 2019).

5.3.5 Alternativa filtermaterial

Biokol

Det råder delade meningar om huruvida biokol som filtermaterial kan minska mängden näringsläckage från regnbäddar. Biokol tillverkas genom pyrolys, biomassa som värms upp utan eller med lite syre med varierande temperaturer. Pyrolysen påverkar biokolets kemiska struktur och kan till exempel ändra biokolets näringsinnehåll och hur tillgängligt näringsämnen blir för växter. Biokol är ett väldigt poröst filtermaterial och har därför en hög vatten- och näringshållande förmåga (Larm & Wahlsten 2017). En studie som har testat biokols reningsförmåga i kolonnror som ska efterlikna regnbäddar har visat sig vara effektivt för att reducera läckage av fosfor, kväve och mikropartiklar (Ulrich et al. 2017). Vid ett annat experiment utfört i Växjö konstruerades 4 regnbäddar med likadan utformning och substrat. I två av regnbäddarna tillsatte man 10% oladdad biokol. Regnbäddarna med biokol hade inte någon reningseffekt på kväve, istället såg man en urlakning av fosfor (Blecken & Viklander 2022). Beroende på hur biokolen som används i olika studier framställs kan resultatet skilja sig åt. En studie som testade reningseffekten hos olika biokol konstaterade att temperaturen under pyrolysen kunde påverka biokolens näringsupptag, då en högre temperatur under framställningen gav ett minskat näringsläckage. Biokol som hade framställts under 600 grader kunde rena 3% nitrat medan biokol som hade framställts vid 300 och 450 grader visade sig läcka nitrat. De flesta av biokolen som testats i studien kunde varken ta upp nitrat eller fosfat (Yao et al. 2012) vilket kan bero på att biokol har en negativ ytladdning (Beesley et al. 2011).

Biokol rekommenderas att tvättas innan användning för att ta bort eventuella nollfraktioner som kan orsaka igensättning i anläggningen och som föroreningar kan binda sig till och spolats ut genom anläggningen. Det kan även vara fördelaktigt att

gödsla en regnbädd om bädden innehåller biokol för att minska risken att biokolet binder till sig all näring som är ämnat för vegetationen i bädden (Larm & Wahlsten 2017). Ett sätt som både näringstillförsel till växter och rening av dagvatten kan tillgodoses är att endast tillföra näring på biokol närmast växterna. Oladdad biokol bör då användas i botten av bädden då det kan binda till sig näringsämnen så att de inte förs vidare ut genom utloppet. Om syftet med regnbädden är rening bör den inte gödslas, istället bör växter med ett mindre näringsbehov väljas (ibid). I en litteratursammanställning som togs fram för Stockholms stad presenterades olika blandningar av filtermaterial kombinerat med biokol som haft olika reningseffekter på fosfor och kväve (Larm och Wahlsten 2017). Sammanfattningsvis visade litteraturstudien på att en inblandning av makadam, biokol och torv i växtbäddar minskar näringsläckage och ger en effektiv avskiljning av metaller. Biokol med höga halter av magnesium med tillsatser av till exempel järn har även påvisat en rening av näringsämnen. Tillsatsen av järn till biokol har en stor reningseffekt på fosfor. En annan tillsats som visat sig vara framgångsrik för att öka biokolets sorptionskapacitet är ostronskal (ibid)

Pimpsten

Pimpsten används ofta som substrat i gröna tak men kan även användas i regnbäddar. Det är en porös vulkanisk bergart som har en bra vattenhållande förmåga på grund av dess större bindningsyta (Narayanasamydamodaran et al. 2024). Pimpsten är, precis som sand, en ändlig resurs (Skog et al. 2023). I en studie av Nacka kommun prövades ett pimpstenssubstrat och ett biokolsubstrat i regnbäddar för att avgöra hur väl de kan rena dagvatten. Båda substraten var även uppblandade med någon form av kompost. Resultatet av detta visade ett näringsläckage av både kväve och fosfor från båda substraten, men pimpstenssubstratet läckte ut mer av båda näringsämnena. En anledning till att det skedde ett läckage från båda substraten kan vara att båda substraten innehöll en större mängd kompost som ofta är orsaken till näringsläckage. Substratet som var baserat på pimpsten läckte ut mer med fosfor och kväve än substrat baserat på biokol, detta skulle kunna förklaras av att en större mängd dagvatten passerat anläggningen (Egelberg & Wold 2021).

5.4 Vegetation

Vegetationen i en regnbädd tillför ett estetiskt värde till bädden men har även en roll i reningsprocessen i en regnbädd (Blecken 2016). Den kan dels sakta ner det inkommande dagvattnets flödeshastighet vilket gör det möjligt för uppslammade

partiklar att sedimentera eller fastna i växtligheten. Vegetationen minskar risken för att filtermaterialet i regnbäddar och föroreningar virvlar upp och dras med vid större vattenflöden. Den minskar dagvattnets näringskoncentration genom näringsupptag från dagvattnet (Fridell & Jergmo 2015) och vegetationens rötter kan förhindra igensättning av filtermaterialet i regnbäddar genom att öppna upp porstrukturen (Blecken 2016). Vegetationen kan även rena dagvatten från metaller men inte lika effektivt som filtermaterialet (Larm & Blecken 2019). Äldre plantor har ett större näringsupptag än unga plantor då de har en mer etablerad rhizosfär, ett större rotsystem samt lever i symbios med mikroorganismer som gör att de har ett större näringsupptag än yngre plantor (Shetty 2018). Det är fördelaktigt att använda större växtkvaliteter med en stor rotvolym i regnbäddar då de är bättre anpassade för att etablera sig i tuffare miljöer som i till exempel en regnbädd där tillgången på näring och växttillgängligt vatten är minimalt (Larm & Blecken 2019).

Hur effektivt olika växtarter kan ta upp näring skiljer sig åt (Read et al. 2008). För att få ett så stort näringsupptag som möjligt kan det vara fördelaktigt att variera olika vegetationstyper och arter eftersom de kan ha olika näringsbehov. Det är även bra att använda olika arter för att få en stor spridning av rötter i hela anläggningen eftersom olika arters rotsystem sträcker sig till olika nivåer i bädden där de har möjlighet att ta upp näringsämnen (Yuan et al. 2017). En stor artvariation minskar även risken för att sjukdomar sprider sig i en anläggning och angriper all vegetation (Folkesson 2017). Det har även visat sig att växter med ett djupare rotsystem kan rena kväve mer effektivt än växter med ett ytligt rotsystem (Skog et al. 2023). En studie som jämförde olika växtarter: *Cornus sericea*, *Juncus effusus*, *Iris versicolor*, *Sesleria autumnalis* och hade även en kontroll utan någon vegetation visade att *Cornus* hade störst fosforupptag följt av $Juncus \geq Iris \geq Sesleria \geq$ kontroll. *Cornus* och *Juncus* hade störst kväveupptag följt av *Iris* och både bädden med *Sesleria* och kontrollen läckte ut kväve (Beral et al. 2023). Det är viktigt att vegetationen i en regnbädd klarar av näringsfattigaförhållanden, kortvariga våta och längre torra perioder så att vegetation inte lider av stress för att den inte kan hantera att växa i ståndorten som finns i en regnbädd. Växter som inte har ett lika stort näringsbehov kommer inte heller kunna ta upp lika mycket näring (Read et al. 2008). Om en regnbädds primära syfte är att rena dagvatten bör växter som inte behöver gödslas användas (Larm & Blecken 2019). De flesta växter klarar av mer näringsfattiga miljöer men är också då mer ljuskrävande. En både näringsfattig och skuggig miljö gör det svårt för växter att få energi för att deras fotosyntes sker långsammare. En del växtarter kan i symbios med kvävefixerande bakterier skapa sitt eget kväve och därmed kunna växa i näringsfattiga förhållanden. Exempel på dessa arter är *Alnus ssp.*, *Elaeagnus*

angustifolia, *Albizia julibrissin*, *Robinia pseudoacacia*, *Hippophaë ssp* (Sjöman et al. 2015).

Under dagtid ökar växter syrehalten i jorden vilket gynnar nitrifikation, omvandling av ammonium till nitrit och nitrat. Under nattetid minskar syrehalten i jorden vilket gynnar denitrifikation, omvandling av nitrat till kvävgas (Svenskt Vatten 2011).

5.4.1 Etablering

Innan vegetationen har etablerat sig i en nyanlagd regnbädd kan det förväntas en minskad reningseffekt av näringsämnen och suspenderade partiklar (Larm & Blecken 2019). På grund av att vegetationens bladverk och rotsystem som är betydande för reningen av dagvatten inte är etablerat än. Det är viktigt att kontrollera hur vegetationen har etablerat sig under åren och avgöra om det eventuellt är nödvändigt att kompletteringsplantera eftersom vegetationen har en stor roll i reningen av näringsämnen (Blecken 2016). De träd och buskar som kommer från plantskolor som klarar näringsfattiga förhållanden har fått mycket näring och kan få ett stort stresspåslag när de planteras i näringsfattiga miljöer. Det kan därför vara lönt att redan vid plantskolestadiet inte ge näring till de växter som gynnas av näringsfattiga förhållanden. Nackdelen med detta är att vegetationen kommer att ta längre tid på sig att växa till sig och bli frodig (Skog et al. 2023).

Mykorrhiza är av stor betydelse för växter som lever i näringsfattiga och torra miljöer. Växter kan leva i symbios med svampar genom mykorrhiza, symbiosen sker genom att underjordiska svamptrådar tar sig in i växtens rötter som hjälper växten att ta upp vatten och näringsämnen ur jorden och får organiska föreningar från träden. Detta ökar chansen för växten att hitta näring i jorden då dess rotsystem på så sätt blir större. Mykorrhiza trivs i magra förhållanden och studier har visat att träd som lider av stresspåslag är mer beroende av mykorrhiza när näring och vatten inte är lika lättillgängligt (Sjöman et al. 2015). För att en växt ska kunna etableras ordentligt är regelbunden bevattning viktigt och framför allt under växtens första etableringsår då rotsystemet inte är lika utvecklat. Vid vattenbrist kan en växt uppleva stress som bromsar växtens tillväxt och etablering (Gilman et al. 1998).

Tabell 1. Litteratursammanställning utförds av (Muerdter et al. 2018) av växtarter som påvisat en effektiv rening av TN (total kvävehalt) och TP (total fosforhalt)

TN	<i>Agapanthus praecox, Amelanchier utahensis, Artemisia cana, Banksia integrifolia, Betula nigra, Betula nigra Dura Heat, Bouteloua gracilis, Buchloe dactyloides, Callistemon pachyphyllus, Carex appressa, Carex microptera, Carex praegracilis, Carpobrotus edulis, Carpobrotus glaucenses, Cercocarpus ledifolius, Cercocarpus montanus, Dactylis glomerata, Dianella brevipedunculata, Elegia tectorum, E. purpureum subsp. maculatum Gateway, Ficinia nodosa, Goodenia ovata, Helianthus angustifolius, Juncus amabilis, Juncus effusus, Juncus flavidus, Medicago sativa, Melaleuca ericifolia, Muhlenbergia lindheimeri, Panicum virgatum Shenandoah, Pennisetum alopecuriodes, Pennisetum clandestinum, Phragmites sp., Phragmites australis, Poaceae family, Rhododendron indicum L., Salix exigua, Schizachyrium scoparium, Sorghastrum nutans, Stenotaphrum secundatum, Typha sp., Typha capensis, Zantedeschia aethiopica</i>
TP	<i>Agapanthus praecox, Banksia integrifolia, Betula nigra, Betula nigra Dura-Heat, Buchloe dactyloides, Callistemon pachyphyllus, Carex appressa, Carex microptera, Carex praegracilis, Carpobrotus edulis, Carpobrotus glaucenses, Dianella brevipedunculata, Eutrochium purpureum subsp. maculatum Á. Löve & D. Löve Gateway, Helianthus angustifolius, Muhlenbergia lindheimeri, Panicum virgatum Shenandoah, Pennisetum alopecuroides, Pennisetum clandestinum, Phragmites australis, Rhododendron indicum, Stenotaphrum secundatum, Typha capensis, Zantedeschia aethiopica</i>

5.5 Vidare skötsel

Skötseln av regnbäddar är inte helt olik skötsel av andra vegetationsytor, där både stödbevattning och ogrärensning förekommer. För att ytterligare minska näringsläckage från regnbäddar rekommenderas det att under driften ta bort växtrester från bädden som annars kan förmultna och bidra till ytterligare näring som kan läcka ut. Det är viktigt att vegetationen i en regnbädd mår bra eftersom de har en stor betydelse för reningen i bädden (Fridell & Jergmo 2015).

Vegetationen ger även ett estetiskt mervärde och ökar infiltrationskapaciteten. För att regnbäddar ska kunna bibehålla sin funktion och kunna brukas under en längre tid bör också inlopp, utlopp, bräddavlopp och avvattningsystem kontrolleras. Inloppen ska hållas fria från skräp så att dagvatten som ska behandlas kan ledas in i bädden (Blecken 2016).

Partiklar som dagvattnet för med sig fastnar främst i de översta 5-10 centimeterna av bädden vilket kan orsaka igensättning av filtermaterial. Det kan därför vara av betydelse att byta ut det översta centimeterna vart 5-30 år beroende på belastningen av partiklar, så att regnbädden kan hållas i bruk under en längre tid (Fridell & Jergmo 2015).

5.5.1 Bör borttag av organiskt material eller kolkällor prioriteras?

Dött växtmaterial bör tas bort från regnbäddar för att få ett minskat näringsläckage (Fridell & Jergmo 2015). Detta missgynnar denitrifikationsprocessen eftersom att dött växtmaterial som lämnas kvar i anläggningen kan användas som kolkälla när tillförd kolkälla är förbrukad (Zinger et al. 2013). Nedbrytningen av dött växtmaterial skapar dock ny näringsrik jord som å ena sidan gynnar vegetationen men har negativ påverkan på reningen. Även dräneringen i en bädd kan minska eftersom nedbrutet organiskt material har en bra vattenhållande förmåga (Blecken 2016). Vegetationen är inte heller lika beroende av symbiosen med mykorrhiza om organiskt material lämnas kvar i anläggningen eftersom det gör jorden mer näringsrik (Sjöman et al. 2015). Det kan vara svårt att avgöra vad som bör prioriteras eftersom en kolkälla skulle kunna leda till mer utsläpp om det lakar ut näring från det döda växtmaterialet innan det hinner förbrukas. En kolkälla kan även öka reningen av kväve (Blecken 2016).

Diskussion

Syftet med detta arbete var att undersöka hur näringsläckage från regnbäddar kan minska samtidigt som att etableringen av vegetationen fortfarande säkerställdes. Rening av dagvatten har blivit en alltmer relevant fråga i dagvattenhantering efter att det konstaterats att stora mängder näring läcker ut ur regnbäddar som kan orsaka vidare övergödning i sjöar och hav (Larm & Wahlsten 2017;Larm & Blecken 2019). Beroende på vilket syfte en regnbädd har, rening eller infiltration, bör filtermaterial med olika hög infiltrationskapacitet användas (Blecken 2016;Skog et al. 2023). Typ av substrat bör väljas beroende på vilka föroreningar regnbädden är avsedd att hantera. Det finns dock en del osäkerheter om vilket substrat som har störst reningseffekt eftersom olika studier motsäger varandra (Larm & Blecken 2019). Det kan bero på att olika faktorer skiljer sig åt i studierna, till exempel kan infiltrationsförmågan skilja sig åt i labb- och utemiljö (Skog et al. 2023).

Vegetationens roll i en regnbädd är inte enbart att tillföra ett estetiskt värde utan även att rena och fördröja dagvatten (Blecken 2016). Ofta väljs växter som ska klara långa torrperioder och korta våta perioder och kompost blandas i substratet för att etableringen av vegetationen ska garanteras (Skog et al. 2023). Något som litteraturen är överens om är att kompost bör uteslutas om syftet med bädden är att rena dagvatten. Dagvatten anses tillföra tillräckligt stora mängder näring för att tillgodogöra vegetationens näringskrav (Larm & Wahlsten 2017). Ändå föreskrivs det ofta kompost i olika substrat för regnbäddar för att vegetationen ska etablera sig snabbt och bli frodig (Kranz et al. 2022;Larm & Blecken 2019). Det behöver skapas en acceptans för att växter inte alltid kan tillföra ett estetiskt värde och att det kan ta längre tid för vegetationen att etablera sig under näringsfattigare förhållanden. Näringsfattiga förhållanden kan även leda till att vegetationen blir tåligare med tiden (Skog et al. 2023) Inspiration bör tas från naturen och efterlikna de miljöer som liknar en regnbädds olika ståndorter och därmed välja växter som klarar att etablera sig i näringsfattiga miljöer (Folkesson 2017).

En regnbädd vars primära syfte är att rena dagvatten bör ha ett substrat som har en lägre infiltrationskapacitet, detta gynnar även vegetationen i bädden då det ökar mängden växttillgängligt vatten och näring och kan minska det stresspåslag som vegetationen annars kan uppleva (Blecken 2016;Skog et al. 2023).

6.1.1 Metoddiskussion

Arbetet har genomförts med en litteraturstudie som både kunnat ge övergripande och en djupare förståelse om ämnet. Under arbetets gång konstaterades det att det var svårt att avsluta sökningsfasen eftersom det fanns mycket relevant underlag om ämnet men för kort om tid att hantera all information. Under arbetet hittades information om vilka växter som klarar långa torr- och korta våta perioder men de regnbäddar har även innehållit en större mängd kompost vilket gjort det svårt att få en klar bild hur vegetationen hade etablerat sig utan kompost. Nackdelen med att utföra en litteraturstudie är att man måste förlita sig på skriftliga resultat och inte fältobservationer. Av den anledningen ansågs det nödvändigt att utföra intervjuer med personer som jobbar i branschen.

De vetenskapliga artiklarna som arbetet använt anser jag inte ha en vinklad vy eftersom litteraturen redovisat konkreta resultat utifrån utförda experiment. Även de källor från statliga myndigheter och branschorganisationer som används anses opartiska eftersom de inte ha någon direkt vinning av att dela information.

6.1.2 Vidare studier

Förslag till vidare forskning är att konstruera regnbäddar helt utan kompost för att studera hur olika växtarter etablerar sig i en regnbädd, där den enda näringstillförseln till vegetationen är från dagvatten som regnbädden tar emot. Vidare fördjupning av detta kan vara att variera filtermaterialet, till exempel att använda sand-, biokols- och pimpstenssubstrat och under tiden även redovisa uppmätt näringsläckage.

Slutsats

Detta kandidatarbete har undersökt utformning av regnbäddar och substrat som kan minska näringsläckage från regnbäddar samt säkerställa etablering av vegetation. Arbetet redovisar även vikten av att välja ett växtmaterial som tolererar ståndorten i en regnbädd vid rening av dagvatten. Litteraturstudien visar att väl utformade regnbäddar kan effektivt reducera näringsläckage, vilket är avgörande för en god vattenkvalité som i sin tur leder till ett välmående omgivande ekosystem. Genom att använda specifika jordsubstrat, som har hög absorptions- och adsorptionskapacitet, samt att välja växtarter som är både näringseffektiva och anpassade till regnbäddens ståndort, kan regnbäddens reningseffekt optimeras.

Vid etablering av vegetation i regnbäddar bör tillsatts av kompost undvikas på grund av nettoläckage. Bevattning är en viktig del i etablering av vegetation då torka kan leda stress vilket försämrar vegetationen näringsupptag. För säkerställande av regnbäddens funktion bör vegetation och regnbäddens andra beståndsdelar regelbundet kontrolleras och underhållas.

Sammanfattningsvis visar arbetet att genom en kombination av rätt val av substrat, vegetation, utformning och underhåll kan regnbäddar utgöra en effektiv lösning för att minska näringsläckage samt säkerställa etablering av vegetationen.

Referenser

- Beesley, L., Moreno-Jimenez, E., Gomez-Eyles, J.L., Harris, E., Robinson, B., Sizmur, T. (2011). A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. *Environmental Pollution*. 159, 3269–3282. https://www.researchgate.net/publication/51584213_A_review_of_biochars'_potential_role_in_the_remediation_revegetation_and_restoration_of_contaminated_soils
- Beral, H., Dagenais, D., Brisson, J. & Kõiv-Vainik, M. (2023). Plant species contribution to bioretention performance under a temperate climate. *Science of The Total Environment*, 858, 160122. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160122>
- Blecken, G (2016). *Kunskaps sammanställning Dagvatten* (Nr. 2016-05). Svenskt Vatten Utveckling. https://www.svensktvatten.se/contentassets/979b8e35d47147ff87ef80a1a3c0b999/svu-rapport_2016-05.pdf
- Blecken, G.T. (2010) *Biofiltration technologies for stormwater quality treatment*. Diss. Luleå Tekniska Universitet. <https://ltu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A991096&dswid=7010>
- Blecken, G. & Viklander, M. (2022). *Rening av dagvatten i biofilter: Effekt av biokol som tillsats i filtermaterialet*. (NV-06919-21). Luleå tekniska universitet. https://ltu.diva-portal.org/smash/record.jsf?aq2=%5B%5B%5D%5D&c=4&af=%5B%5D&searchType=LIST_LATEST&sortOrder2=title_sort_asc&query=&language=sv&pid=diva2%3A1834019&aq=%5B%5B%5D%5D&sf=all&aqe=%5B%5D&sortOrder=author_sort_asc&onlyFullText=false&noOfRows=50&dswid=1308
- Boverket (2019). *Hälsa, estetik och sociala relationer*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/praktiken/estetik/> [2024-05-10]
- Gilman, E. F., Black, R. J., & Dehgan, B. (1998). Irrigation Volume and Frequency and Tree Size Affect Establishment Rate. *Journal of Arboriculture*. 24(1), https://www.researchgate.net/publication/265491611_Irrigation_Volume_and_Frequency_and_Tree_Size_Affect_Establishment_Rate
- Egelberg, P. & Wold, S (2021). *Utvärdering av regnbäddar testanläggningar Värmdövägen*. (NV-05802-20). Nacka kommun. <https://www.naturvardsverket.se/4ac52b/globalassets/amnen/avlopp/resultat/rapport-regnbaddar.pdf>
- Folkesson, A. (2023). Vegetation i regnbäddar och dammar för dagvattenhantering. [Presentation]. https://slu-se.instructure.com/courses/9172/files/1120425?module_item_id=305299

- Folkesson, A (2018). Jordkokboken: handbok i att beskriva växtbäddar för växter med speciella krav i anslutning till AMA. Andra utgåvan Stockholm: Svensk byggtjänst
- Folkesson, A. (2017). Växtval för funktion och estetik i regnbäddssammanhang. [Presentation].
https://www.movium.slu.se/sites/default/files/course/12800/files/documentation/anders_folkesson-final.pdf
- Fridell, K. & Jergmo, F. (2015). Regnbäddar - biofilter för behandling av dagvatten. Movium fakta. <https://pub.epsilon.slu.se/27942/1/fridell-k-et-al-220518.pdf>
- Färm, C. (2003). *Rening av dagvatten genom filtrering och sedimentation*. (2003-16). VA-FORSK. https://vav.griffel.net/filer/va-forsk_2003-16.pdf
- Haghighatafshar, S., Nordlöf, B., Roldin, M., Gustafsson, L. G., la Cour Jansen, J. & Jönsson, K. (2018). Efficiency of blue-green storm water retrofits for flood mitigation – conclusions drawn from a case study in Malmö, Sweden. *Journal of Environmental Management*. 207, 60-69. doi:10.1016/j.jenvman.2017.11.018
- Hunt, W.F., Davis, A.P. & Traver, R.G. (2012) Meeting hydrologic and water quality goals through targeted bioretention design. *Journal of Environmental Engineering*. 138(6), 698-707. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000504](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000504)
- Ioan, A.G., Iancu, I., Dimache, A. & Anton, A. (2021). Urbanisation and Climate Change Impact on Urban Water. *2021 10th International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT*. 1-5 [Bucharest, Romania, 2021].
<https://doi.org/10.1109/CIEM52821.2021.9614740>
- Kranz, C. N., Rivers, E. N., McLaughlin, R. A. & Heitman, J. L. (2022). Influence of compost application rate on nutrient and heavy metal mobility: Implications for stormwater management. *Journal of Environmental Quality*, 51, 1222–1234.
<https://doi.org/10.1002/jeq2.20403>
- Larm, T. & Blecken, G. (2019). *Utformning och dimensionering av anläggningar för rening och flödesutjämning av dagvatten*. (Nr 2019-20). Svenskt Vatten Utveckling.
<https://www.svenskvatten.se/contentassets/c8abaf832f154888aa018c23752bf5a9/svu-920.pdf>
- Larm, T. & Wahlsten, A (2017). *Litteraturstudie av reningseffekten i olika typer av skelettjordar och växtbäddar. Översikt med fokus på tillämpning med biokol och andra tillsatser*. Stormtac. ¹
- Länsstyrelsen (2018). Dagvattenhantering i ett förändrat klimat Kalmar län.
<https://www.lansstyrelsen.se/download/18.746760b71768421ad552633c/1612261764625/Dagvatten%20dagvattenhantering%20i%20ett%20f%C3%B6r%C3%A4ndrat%20klimat%20Kalmar%20l%C3%A4n.pdf> [2024-04-01]
- Muerdter, C.P., Wong, C.K. & Lefevre, G.H. (2018) Emerging investigatorseries: the role of vegetation in bioretention for stormwater treatment in the built environment: pollutant removal, hydrologicfunction, and ancillary benefits. *Environmental*

¹ Rapport tillhandahålls av författare

- Science: Water Research & Technology*. 4(5):592–612.
<https://doi.org/10.1039/C7EW00511C>
- Narayananasamydamodaran, S., Zuo, J. & Kumar, N. (2024). Simultaneous Nutrient Removal from Urban Runoff Using Bi-layer Bioretention Cells with Novel Media Additives. *Topics in Catalysis*. <https://doi.org/10.1007/s11244-023-01894-5>
- Normann Bjarsell, E., Westergren, S. & Lindman, S. (2024). Landskapsarkitekt, civilingenjör med inriktning vatten respektive avdelningschef Samhällsutförning på WSP, Malmö. Platsbesök med intervju den 2024-04-17
- Read, J., Wevill, T., Fletcher, T. & Deletic, A. (2008). Variation among plant species in pollutant removal from stormwater in biofiltration systems. *Water Research*, 42 (4), 893–902. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.08.036>
- Shetty, N.H. (2018). *New York City's Green Infrastructure: Impacts on Nutrient Cycling and Improvements in Performance*. Diss. Columbia University.
<https://doi.org/10.7916/D8MS54P2>
- Shrestha, P., Faulkner, J.W., Kokkinos, J. & Hurley, S.E. (2020). Influence of low-phosphorus compost and vegetation in bioretention for nutrient and sediment control in runoff from a dairy farm production area. *Ecological Engineering*. 150, 105821. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105821>
- Sjöman, H., Slagstedt, J., Wiström, B. & Ericsson, T. (2015). Naturen som förebild. I: Sjöman, H. & Slagstedt, J. red.) Träd i urbana landskap. Studentlitteratur. 56-229.
- Skog, A.P., Johansen, A., Farquharson, L. & Stenbeck, S (2023). Kvalitetskriterier för regnbäddssubstrat. (RISE Rapport 2023:60). Rise. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1806617/FULLTEXT02.pdf>
- Slagstedt, J., Gustafsson, E. L. & Stål, Ö. (2015). Förstå jorden. I: Sjöman, H. & Slagstedt, J. red.) Träd i urbana landskap. Studentlitteratur. 540-605.
- SMHI (2023). Källor till övergödning.
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/havsmiljo/kallor-till-overgodning-1.6011> [2024-05-10]
- Svenskt vatten AB. (2011). *Hållbar dag- och dränvattenhantering. Råd vid planering och utformning*. Publikation P105, Bromma: Svenskt Vatten.
- Sörensen, J., Johansson, A., Nordgren, M., Sternudd, C. & Persson, M. (2016). Klimatanpassning mot urbana översvämningar genom transprofessionell samverkan. *Vatten - Journal of Water Management and Research* 72(3), 177–185. https://www.tidskriftenvatten.se/wp-content/uploads/2017/04/48_article_4795.pdf [2024-03-25]
- Ulrich, B.A., Loehnert, M. & Higgins, C.P. (2017). Improved contaminant removal in vegetated stormwater biofilters amended with biochar. *Environmental Science: Water Research & Technology*. 3(4), 726–734.
<https://doi.org/10.1039/C7EW00070G>
- Yao, Y., Gao, B., Zhang, M., Inyang, M. & Zimmerman, A.R. (2012). Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a

sandy soil. *Chemosphere*, 89(11), 1467–1471.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.06.002>

Yuan, J., Dunnett, N. & Stovin, V. (2017). The influence of vegetation on rain garden hydrological performance. *Urban water journal*, 14(10), 1083–1089.

<https://doi.org/10.1080/1573062X.2017.1363251>

Zinger, Y., Blecken, G.T., Fletcher, T.D., Viklander, M. & Deletic, A. (2013) Optimising nitrogen removal in existing stormwater biofilters: Benefits and tradeoffs of a retrofitted saturated zone. *Ecological Engineering*, 51, 75-82.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.007>

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga ohuch sökbara.