

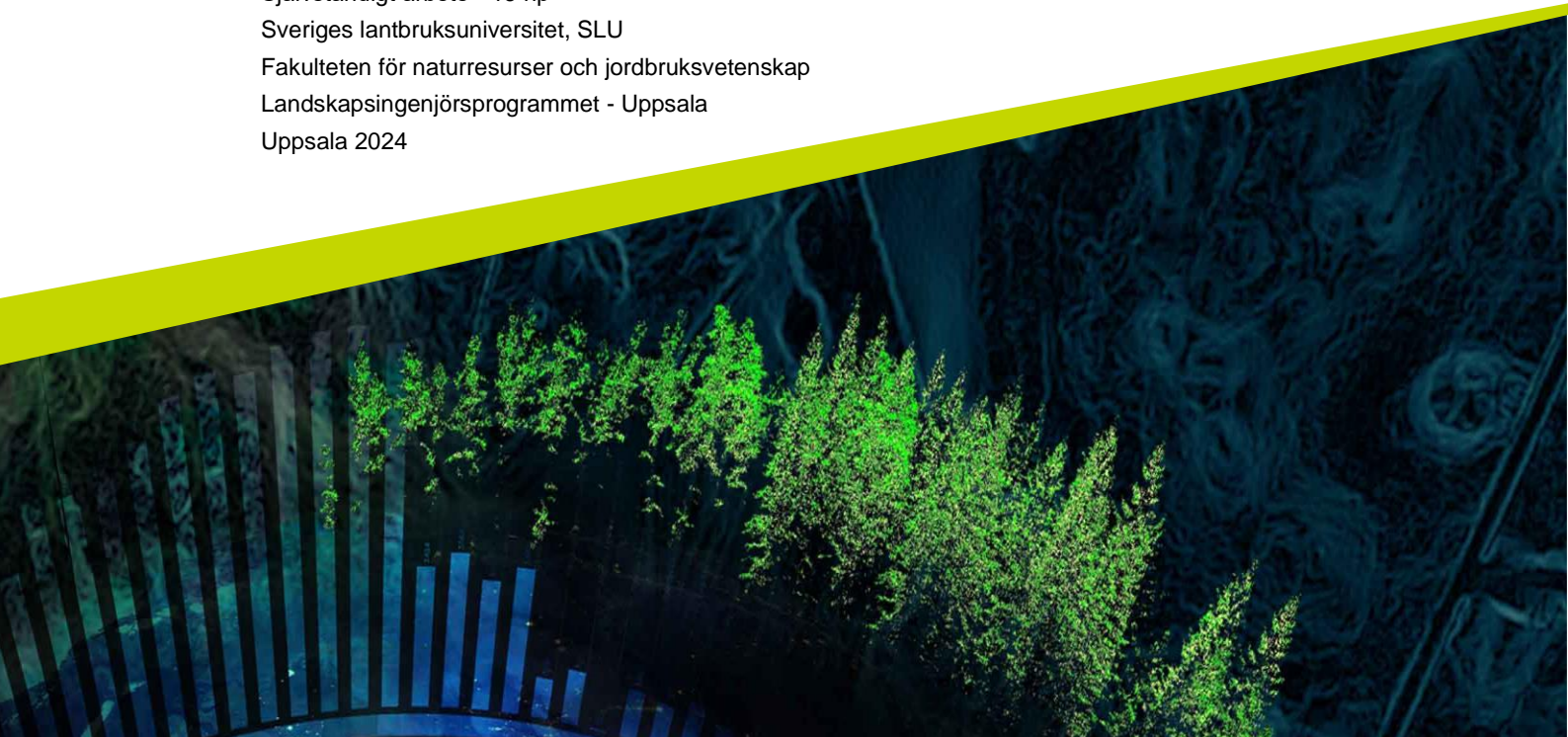


Näringsläckage från gröna tak

Användning av biokol för att reducera näringsläckage

Nian Salih & Alva Wågemark

Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Landskapsingenjörsprogrammet - Uppsala
Uppsala 2024



Näringsläckage från gröna tak. Användning av biokol för att reducera näringsläckage

Nutrient leaching from green roofs. Implementing biochar to reduce nutrient leaching

Nian Salih & Alva Wågemark

Handledare: Helena Nordh, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för stad och land
Examinator: Göran Thor, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för ekologi
Bitr. examinator: Ulla Myhr, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för stad och land

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i landskapsarkitektur
Kurskod: EX1004
Program/utbildning: Landskapsingenjörsprogrammet - Uppsala
Kursansvarig inst.: Institutionen för stad och land
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2024
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Biokol, gröna tak, näringsläckage, näringsämnen, dagvatten, övergödning, biologisk mångfald.

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för stad och land

Avdelningen för landskapsarkitektur

Sammanfattning

I arbetet mot klimatförändringar i urban miljö kan gröna tak ha en viktig funktion genom att reducera och fördröja dagvattenavrinning samt bidra med ett flertal ekosystemtjänster och öka andelen grönyta. En nackdel med gröna tak är dock att de kan innebära ett ökat näringsläckage, vilket resulterar i näringsföroreningar i avrinningsvattnet. Detta har en negativ inverkan på ekosystem, och kan bidra till allvarliga miljöproblem, såsom övergödning, algblomning och försurning, vilket utöver att påverka ekosystem negativt även innebär en enorm samhällskostnad. Detta kandidatarbete undersöker hur jordförbättringsmaterialet biokol kan användas för att reducera näringsläckage från gröna tak. Biokol har visats vara ett mycket hållbart material, då dess tillverkning kan innebära återanvändning och tillvaratagande av biprodukter från andra industrier, samt då biokol kan reducera utsläpp av växthusgaser. Resultatet visar att biokol effektivt reducerar läckage av generella näringsämnen, och att det särskilt effektivt reducerar näringsläckage av kväve (N). Vidare konstateras att det finns flera bakomliggande faktorer som påverkar i vilken utsträckning biokol reducerar näringsläckage, bland annat vilket tillverkningsmaterial som använts, vilken storlek biokolet har, och vilken mängd biokol som tillsätts. Studier visar även att biokol kan buffra, neutralisera, och höja pH eftersom det generellt är ett alkaliskt material. Detta medför att biokol kan användas för att reducera effekten av sur nederbörd, och höja pH-värdet i avrinningsvattnet från gröna tak, vilket innebär att mängden föroreningar från gröna tak reduceras. Resultatet visar vidare att vegetation i kombination med biokol innebär högst reduktion av näringsläckage, och att biokol också kan förbättra förutsättningarna för vegetation på gröna tak. Biokol har visats fördröja den permanenta vissningspunkten, genom att öka substratets vattenhållande förmåga; något som medför ökad vitalitet. Att vegetationen har hög vitalitet och god etablering menar flera studier är avgörande för mängden näringsläckage i avrinningsvattnet från gröna tak. Sammantaget bedöms det finnas goda förutsättningar att genom användning av biokol på gröna tak i urbana miljöer reducera näringsläckage. Biokol kan även, tack vare dess låga densitet, användas för att öka substratets tjocklek, utan att medföra en viktökning. Detta bedöms ha stor potential att öka artrikedomen på gröna tak, vilket kan främja biologisk mångfald och ha positiv effekt på ekosystem. Fortsättningsvis hoppas vi på att kunna se en ökning av mängden gröna tak i urban miljö, och att de gröna tak som anläggs har biokol tillsatt i substratet.

Nyckelord: näringsämnen, dagvatten, övergödning, biologisk mångfald.

Abstract

In the work against climate change in urban areas, green roofs have an important role in reducing and delaying stormwater runoff whilst providing a wide range of ecosystem services. However, a disadvantage with green roofs is the increased likelihood of nutrient leaching, which can lead to nutrient pollution. Nutrient runoff is a detriment to ecosystems by contributing to environmental problems such as eutrophication, algae bloom and acidification, which amount to a great social cost. This bachelor's thesis aims to examine how the soil improver biochar can be used to reduce nutrient leaching from green roofs. Biochar has been proven to be an exceedingly sustainable material, as its production allows for recycling and the adoption of by-products from various industries, as well as biochar's ability to reduce emissions of greenhouse gases. Our results showed that biochar is effective at broadly reducing the leaching of nutrients, and especially at reducing nutrient leaching

of nitrogen (N). Furthermore, it is ascertained that there are several factors which account for the extent of biochar's reduction of nutrient leaching, including the raw material used, the particle size of biochar, and the amount of biochar supplemented. Studies also show that biochar can effectively buffer, neutralise and increase pH, as it is typically an alkaline material. This means biochar can reduce the effect of acid rain and increase the pH value of water runoff from green roofs, which promotes a reduction in pollution from green roofs. Additionally, our results show that a combination of vegetation and biochar causes the greatest reduction of nutrient leaching, and that biochar can improve the factors that impact plant growth on green roofs. Biochar has proven to delay the permanent wilting point, by increasing the substrate's water holding capacity, resulting in higher plant vitality. Due to biochar's low density, it can be utilised to increase the substrate layer's thickness without additional weight gain. These results show that biochar has a large potential to increase species richness, which can promote biodiversity and have a positive effect on ecosystems. Further, we hope to see an increase of green roofs in urban environments, and that the constructed green roofs feature biochar amendments.

Keywords: nutrients, nutrient runoff, stormwater, eutrophication, biodiversity.

Förord

Denna litteraturstudie är ett kandidatarbete på landskapsingenjörsprogrammet vid Sveriges lantbruksuniversitet, Ultuna. Arbetet är författat av Nian Salih och Alva Wågemark. Salih och Wågemark har utfört individuell bearbetning av empirin, vilket sedan gemensamt bearbetats och diskuterats. Samtlig text i examensarbetet utöver sammanfattning och abstract är ett resultat av ett gemensamt arbete, där båda författarna bearbetat text, gemensamt och i samförstånd. Wågemark har författat sammanfattningen, och Salih har författat abstract. Datainsamling har genomförts, bearbetats och analyserats gemensamt. Samtliga figurer, tabeller och liknande material är, såtillvida inget annat anges, ett resultat av Salih och Wågemarks gemensamma arbete.

Litteraturstudiens författare vill rikta ett särskilt tack till dess handledare, Helena Nordh som genom sitt outtröttliga engagemang och välvilja bidragit till kandidatarbetets framgång.

Nian Salih & Alva Wågemark

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	8
Figurförteckning.....	9
Förkortningar	10
1. Introduktion	11
1.1. Syfte och frågeställningar	12
1.2. Avgränsningar	13
1.2.1. Enbart gröna tak	13
1.2.2. Ingen agrikultur	14
1.2.3. Urban miljö.....	14
1.2.4. Biokol	14
2. Nyckelbegrepp	15
2.1. Gröna tak	15
2.2. Näring.....	17
2.3. Växter	17
2.4. Näringsläckage	18
2.5. Biokol	18
3. Metod.....	20
3.1. Sökning	21
3.1.1. Sökfraser.....	21
3.1.2. Databassökning	22
3.2. Värdering.....	22
3.2.1. Källkritik.....	24
3.2.2. Kritik av metod	24
3.3. Sammanställning.....	25
4. Resultat och diskussion.....	28
4.1. Publiceringsår	28
4.2. Antal författare.....	29
4.3. Ursprungsland.....	29
4.4. Upphovsperson	30
4.5. Klimatzon	31
4.6. Olika sorters biokol	33

4.7. Översikt	33
4.8. Svar på frågeställningar	34
4.8.1. Kan biokol användas för att helt undvika, alternativt reducera, näringsläckage från gröna tak?	34
4.8.2. Kan biokol förbättra substrategenskaper?	35
4.8.3. Kan vegetation påverka näringsläckage?	36
4.8.4. Vilka faktorer påverkar biokolets förmåga att reducera näringsläckage?	37
4.8.5. Är biokol ett fördelaktigt material att använda på gröna tak?	40
4.8.6. Är biokol ett hållbart material och kan det användas för att skapa hållbara städer?	41
4.9. Slutsats	43
Referenser	45
Figurer	54
Tabeller	55

Tabellförteckning

Tabell 1. Tabell över de olika vegetationsskikten, baserad på data från Nationalencyklopedin (Nationalencyklopedin u.å. a; Nationalencyklopedin u.å. b; Nationalencyklopedin u.å. c; Nationalencyklopedin u.å. f).	17
Tabell 2. Identifiering av nyckelbegrepp och relaterade termer inför blocksökning.	22
Tabell 3. Sammanställd data från databassökning och bearbetning av empirin.	26

Figurförteckning

Figur 1. Construction sample of a green roof system (thingermejig 2006) (CC BY-SA 2.0).	16
Figur 2. Flödestabell över de steg som ingår i SALSA-metoden.	21
Figur 3. Resultat av databassökning, med olika sökfraser, avgränsningar och kriterier. .	23
Figur 4. Antal publicerade artiklar i empirin med respektive årtal.	29
Figur 5. Antal publicerade artiklar från respektive ursprungsland.	30
Figur 6. Karta över de olika klimat där empirin publicerats. Skapad med MapChart, används under CC BY-SA 4.0.	32
Figur 7. Förekomst av olika tillverkningsmaterial för biokol i empirin.	33
Figur 8. Sammanställning av empirins resultat presenterat i ett cirkeldiagram.	34

Förkortningar

Al	Aluminium.
K	Kalium (Potassium).
Mg	Magnesium.
N	Kväve (Nitrogen).
NPK-Gödsel	Gödsel innehållande kväve, fosfor och kalium.
P	Fosfor (Phosphorus).
pH	Potential of Hydrogen, potential av vätejoner, logaritmiskt mått på surhet.
TN	Total Nitrogen, Totalt Kväve.
TP	Total Phosphorus, Totalt Fosfor
TSS	Total Suspended Solids, Totala Suspenderade fasta ämnen.
WRC/WHC	Water Retention Capacity/Water Holding Capacity, Vattenhållande förmåga.
UHI	Urban Heat Island, Urban Värmeö.

1. Introduktion

Ett av mänsklighetens största hot under 2020-talet anses vara förlust av biologisk mångfald, och ekosystemkollaps (Naturvårdsverket u.å.). Det är därför högaktuellt, och särskilt angeläget, att tillämpa nya lösningar och metoder för att motverka detta (ibid.). I arbetet mot klimatförändringar, och den globala uppvärmningen, finns ett flertal globala mål och avtal. Exempelvis FN:s globala mål för hållbar utveckling (United Nations u.å. a), Parisavtalet (United Nations u.å. b) och EU:s mål om klimatneutralitet 2050 (EU u.å.). Sammantaget indikerar detta att arbetet med att skapa hållbara, mångfacetterade, koldioxidneutrala och gröna städer är essentiellt.

Globalt sett är det en realitet att andelen grönyta i städer minskar, och riskerar att bli en bristvara (Boverket 2016; Parliamentary Commissioner for the Environment 2023). Detta kan härledas till den förtätning och exploatering som skett till följd av en ökad befolkningsmängd och ett ökat bostadsbehov (Baycan & Nijkamp 2007). Sedan 1900-talet har det skett en stor ökning av andelen av befolkningen som bor i städer (Grimm et al. 2008). Det uppskattas att minst två tredjedelar av världens befolkning kommer att bo i urbana områden år 2050 (Department of Economic and Social Affairs, 2008; The World Bank 2023). Historiskt sett har trångbodda städer med en låg andel grönyta resulterat i en försämring av människors hälsa (Mayne 2023), vilket ytterligare indikerar vikten av grönytor i städer.

Urbanisering har också ökat andelen hårdgjorda ytor (SCB 2019). En ökad andel hårdgjorda, impermeabla, ytor innebär att andelen infiltreringsyta för dagvatten minskar (Minnesota DNR u.å.), och därmed att infiltreringskapaciteten sjunker (ibid.). Detta innebär ett ökat tryck på recipienter (Boverket 2019) då hårdgjorda ytor innebär en ansamling av dagvatten (Boverket 2021), och öka vattnets avrinningshastighet (Minnesota DNR u.å.), vilket påverkar vattenflöde och dagvattenföroreningar (Viklander et al. 2019). Hårdgjorda ytor kan dessutom inskränka naturliga spridningsvägar och skapa barriärer (Boverket 2021).

Hårdgjorda ytor absorberar värmestrålning (Folkhälsomyndigheten 2018) vilket höjer medeltemperaturen i städer (Grimm et al. 2008). Detta bidrar till att det bildas urbana värmeöar, urban heat islands, vilket ökar utsläpp av luftföroreningar och växthusgaser (United States Environmental Protection Agency 2023).

I genomsnitt är ca 20-25% av ytarean av städer takyta (Akbari & Rose 2008). Att etablera grönytor på tak innebär en stor potential att öka andelen grönyta i städer, utan att uppta mer markyta än vad som redan upptas av byggnader (Joshi et al. 2020). Konventionella gråa tak har hög avrinning (Farreny et al. 2011), medan gröna tak fördröjer dagvatten omgående vid nederbörd och därmed har lägre avrinning (Kuoppamäki et al. 2016). Dessutom kan gröna tak reducera effekten av värmeöar i staden och samtidigt gynna den biologiska mångfalden (Dwivedi & Buddhiraju 2018).

Jämfört med konventionella gråa tak läcker gröna tak generellt mer näring (Kuoppamäki et al. 2016), vilket innebär att gröna tak medför en ökad risk för näringsläckage i dagvattensystem (Sveriges vattenmiljö 2021). Näringsföroreningar är ett stort problem, då de kan orsaka övergödning, algbloomning och ha negativ inverkan på ekosystem (Sveriges vattenmiljö 2021). Studier har fastställt att substrat påverkar mängd och förekomst av näringsläckage från gröna tak (Xu et al. 2022).

Ett material som kan användas i syfte att reducera näringsläckage är biokol (Kuoppamäki et al. 2016). Biokol är en koldioxidnegativ produkt som skapas vid pyrolys av biomassa och avfallsprodukter. Vilka kvaliteter och egenskaper biokol har beror på tillverkningsmaterial, tillverknings temperatur och tillverkningsperiodens omfattning (Liao et al. 2022b), men generellt är biokol ett substrat med hög porositet och låg densitet (ibid.). Biokol är både hållbart, och etiskt, ur flera olika perspektiv (Beck et al. 2011; Huang et al. 2020).

Studier har visat att biokol kan reducera näringsläckage (Kuoppamäki et al. 2016; Liao et al. 2022b; Michaud & Gan 2022; Akpınar et al. 2023; Goldschmidt & Buffam 2023), och förbättra substratets egenskaper, såsom vattenhållande förmåga och växttillgänglig näring (Lata et al. 2018), men eftersom att biokol inte är ett homogent material, varierar dess förmåga att reducera näringsläckage (ibid.). Resultatvariation i studier kan antas bero på denna heterogenitet, vilket innebär ett behov av att sammanställa resultat och identifiera trender för att få en ökad förståelse av hur biokol kan tillämpas för att förhindra näringsläckage.

Detta examensarbete kommer att studera tillämpning av biokol i syfte att reducera näringsläckage från gröna tak.

1.1. Syfte och frågeställningar

Syftet är att undersöka hur biokol påverkar möjligheten att reducera och förhindra

näringsläckage från gröna tak i urban miljö.

För att skapa långsiktigt hållbara städer behövs mer grönyta (van den Bosch & Nieuwenhuijsen 2017). Gröna tak innebär en ökning av andelen grönyta utan att uppta mer markyta (Joshi et al. 2020). En negativ aspekt med gröna tak är det eventuella näringsläckage som dessa kan medföra. Näringsläckage är ett mycket stort problem eftersom att det kan ha förödande konsekvenser för ekosystem (Ngatia et al. 2019). För att reducera näringsläckage från gröna tak kan substratet förbättras med tillsatser, såsom biokol (Lata et al. 2018).

Detta kandidatarbete kommer att studera följande frågeställningar:

1. Kan biokol användas för att helt undvika, alternativt reducera, näringsläckage från gröna tak?
2. Kan biokol förbättra substrategenskaper?
3. Kan vegetation påverka näringsläckage?
4. Vilka faktorer påverkar biokolets förmåga att reducera näringsläckage?
5. Är biokol ett fördelaktigt material att använda på gröna tak?
6. Är biokol ett hållbart material och kan det användas för att skapa hållbara städer?

1.2. Avgränsningar

1.2.1. Enbart gröna tak

Arbetet avgränsas till att enbart studera näringsläckage från gröna tak, och inte andra grönytor såsom gröna väggar, planteringar eller parker. Denna avgränsning beror på att förutsättningarna för gröna tak i mycket stor utsträckning skiljer sig från andra grönytor. Skillnader mellan gröna tak och andra ytor är exempelvis att gröna tak är mer utsatta för vind- och solexponering än marknära planteringar och grönytor. Gröna tak är därmed en torrare växtplats, vilket kan resultera i stora påfrestningar för vegetation.

Vidare har gröna tak i stor utsträckning avrinning i dagvattensystemet (Berndtsson 2010). Detta innebär att eventuell förekomst av näring i avrinningsvattnet kan transporteras till naturliga vattendrag, vilket kan påverka marina- och sötvattenekosystem negativt (Grimm et al. 2008). Dessutom är substratdjupet på gröna tak ofta mycket tunt, vilket innebär begränsningar både för vilken vegetation som kan etableras, men också för ekosystemtjänster.

1.2.2. Ingen agrikultur

Agrikultur på gröna tak utesluts eftersom att grödor är mycket mer näringskrävande (Walters & Midden 2018) än den typ av vegetation som vanligtvis anläggs på gröna tak. Då detta innebär ett ökat behov av näringstillförsel (ibid.). Därtill kan det antas att denna typ av växtlighet inte är möjlig att tillämpa på tak i urban miljö i samma utsträckning som andra gröna tak, då substratdjupet som krävs vid odling ofta är relativt omfattande (da Cunha et al. 2019).

1.2.3. Urban miljö

Arbetet avgränsas till att enbart beröra gröna tak i urban miljö, eftersom andelen hårdgjorda ytor är betydligt högre i urbana miljöer jämfört med mer rurala (SCB 2019), vilket innebär att det finns ett större behov av gröna tak i städer jämfört med rurala miljöer. Stadsklimatet är ofta mer utsatt och skiljer sig mycket från rurala miljöer. Vilket innebär att det kan antas finnas skillnader mellan hur gröna tak beter sig i urban, och rural miljö.

I urbana miljöer påverkas gröna tak av föreningar i stor utsträckning. Dessutom är byggnadsstrukturen i urban miljö mycket mer kompakta vilket påverkar flödet av vind och vatten samt tillgången av solljus. I urbana miljöer är också medeltemperaturen ofta högre än omkringliggande ytor, som en konsekvens av urbana värmeöar (Grimm et al. 2008).

1.2.4. Biokol

Efter initial databassökning behövdes en ytterligare avgränsning tillämpas för att inte riskera att kandidatarbetet skulle bli för omfattande. Detta resulterade i att jordförbättringsmaterial och tillsatser avgränsades till enbart biokol. Biokol är ett relevant och aktuellt material vilket resulterat i att det finns omfattande forskning inom området. Biokol är även mycket fördelaktigt ur ett hållbarhetsperspektiv eftersom att det är koldioxidnegativt, och även kan innebära ett visst återbruk av restavfall, biprodukter och liknande material. Vidare är biokol dessutom ett etiskt försvarbart jordförbättringsmaterial, eftersom det inte innebär samma negativa miljöpåverkan som exempelvis torv och pimpsten (Austin 1994).

2. Nyckelbegrepp

Detta kapitel kommer att redogöra för ett antal grundläggande begrepp och termer. Bland annat förklaras gröna tak, näringsläckage och biokol, i syfte att skapa förståelse hos läsaren.

2.1. Gröna tak

Historiskt sett har gröna tak funnits väldigt länge (Jim 2017). En av de mest välkända exemplen på historiska gröna tak är Babylons hängande trädgårdar (ibid.), vilka antas ha konstruerats cirka 500 år före vår tideräkning (Abass et al. 2020). Under den andra halvan av 1900-talet populariserades gröna tak i Tyskland, där ett nykonstruerat brandsäkert och vattentätt lager bestående av tjära, sand och grus innebar ökade möjligheter att implementera gröna tak, vilket också gett upphov till dagens gröna tak (Köhler 2004; Magill 2011; Abass et al. 2020).

Det finns en stor variation av gröna tak, både gällande skötselnivå, vegetationstyp samt typ av anläggning (pre-grown). Inom gröna tak används huvudsakligen två olika benämningar, extensiv och intensiv, vilka beskriver ett grönt taks skötselnivå. Ett intensivt grönt tak kännetecknas av ett tjockare substratdjup och hög variation av växter, medan ett extensivt tak oftast har ett mycket tunnare substratdjup och till stor del enbart sedumväxter (Zhang et al. 2012). Extensiva gröna tak är överlag mindre skötselkrävande (ibid.) och förekommer mest i urbana miljöer (Xiong et al. 2023).

Det finns ett flertal olika tillverkare av gröna tak. I handeln går det att köpa färdiga vegetationsmattor, men även individuella pluggplantor saluförs. Ofta har dessa färdiga produkter ett mycket lågt substratdjup, vilket innebär att de blir känsligare för torka, och inte kan bidra på samma sätt med ekosystemtjänster som tjockare gröna tak (Kuoppamäki & Lehvävirta 2016). Studier har visat att färdiggjorda gröna tak läcker mer näring, framförallt kväve (Zhang et al. 2019), än ett egenkonstruerat grönt tak (Kuoppamäki & Lehvävirta 2016).

Gröna tak består vanligtvis av omkring 10 olika lager, vars syfte är att förhindra vattenintrång till underliggande bjälklag, samt erbjuda en bra växtmiljö. Vanligtvis är dessa lager skyddslager, tätskikt, rotisolering, isolering, mekaniskt rotskydd,

dränerande skikt, filter, växtbädd/substrat, och växter (Maltseva et al. 2021; Boverket 2023) (se figur 1).



Figur 1. Construction sample of a green roof system (thingermejig 2006) ([CC BY-SA 2.0](#)).

Gröna tak är en svår växtplats, då det är utsatt för vind och sol, vilket kan leda till mycket torra förhållanden (Kuoppamäki et al. 2016). Vidare begränsas substratdjup ofta av vikt, vilket tenderar att innebära mycket små substratdjup, med begränsad vegetation (Lanta et al. 2018). Sammantaget kan detta leda till låg diversitet, vilket inte gynnar den biologiska mångfalden (ibid.).

Fördelarna med gröna tak är många, de bidrar med flera ekosystemtjänster såsom luftfiltrering, temperaturregulering, dagvattenhantering och bullerdämpning (Chen et al. 2018; Goldschmidt & Buffam 2023). Dessutom kan gröna tak öka andelen habitat, vilket kan förbättra förutsättningarna för den biologiska mångfalden i städer (Wooster et al. 2022). De kan också fungera som spridningsvägar, och gröna korridorer, vilket är viktigt för biodiversiteten (ibid.). Dessutom innebär gröna tak, precis som tidigare nämnt, en ökad andel grönyta utan att uppta mer markyta än vad som redan är upptaget, vilket är viktigt framförallt i städer där ytan ofta är begränsad (Joshi et al. 2020).

2.2. Näring

Det finns omkring 14 livsnödvändiga näringsämnen för växter som är uppdelade i två grupper: mikronäringsämnen och makronäringsämnen. Gruppen mikronäringsämnen består av åtta näringsämnen, bland annat klor (Cl), järn (Fe), koppar (Cu) och zink (Zn) (White & Brown 2010). Gruppen makronäringsämnen består av sex mineralämnen som växter kräver i störst utsträckning: kväve (N), fosfor (P), kalium (K), svavel (S), kalcium (Ca) och magnesium (Mg) (White & Brown 2010). Det är därför vanligt att det är just makroämnena som måste tillföras i form av gödsel, mer specifikt NPK-gödsel. NPK finns både i form av konstgödsel (mineralgödsel) och stallgödsel (Andersson et al. 2023).

2.3. Växter

Det finns inom botaniken fyra olika vegetationsskikt, bottenskikt, fältskikt, buskskikt, och trädskikt (se tabell 1). Bottenskiktet består av lavar och mossor, fältskiktet består av kärlväxter, örter, gräs och ris, buskskiktet består av flerstammiga buskar och träd, och trädskiktet består av träd med genomgående stam (Nationalencyklopedin u.å. a).

Tabell 1. Tabell över de olika vegetationsskikten, baserad på data från Nationalencyklopedin (Nationalencyklopedin u.å. a; Nationalencyklopedin u.å. b; Nationalencyklopedin u.å. c; Nationalencyklopedin u.å. f).

Skikt	Vegetation	Höjd (m)
Bottenskikt	Mossor och lavar	0-0.1 m
Fältskikt	Kärlväxter, örter, gräs och ris	0.01-2 m
Buskskikt	Flerstammiga buskar och träd	0.3 - (4-5) m
Trädskikt	Träd med genomgående huvudstam	>5m

En del växter kan fixera kväve genom symbios med kvävefixerande bakterier i rotsystemet, dessa är vanligtvis ärtväxter såsom ärtor och klöver (Franche et al. 2008). Växter med denna förmåga återfinns i flera vegetationsskikt (ibid.). Detta är användbart eftersom det kan reducera behovet av att gödsla (Abd-Alla et al. 2023).

När vegetation utsätts för torka innebär detta en försämrad vitalitet, eftersom den riskerar att vissna. När vegetation vissnat och inte längre anses livskraftig, har den permanenta vissningspunkten, PWP, passerats. Bakke (1918:81) fastställer att “[...] a plant is regarded as having attained a condition of permanent wilting when it does

not recover its turgidity in a period of 24 hours when surrounded by air saturated with water vapor.”.

2.4. Näringsläckage

Näringsläckage sker när näringsämnen istället för att upptas av växter lakas ur jorden, och hamnar i avrinningsvattnet (Messiga et al. 2020). Detta leder till att avrinningsvattnet blir förorenat, kontaminerat, med ämnen såsom kväve, fosfor och liknande (ibid.).

Även om alla typer av näringsläckage är negativt, finns det vissa typer av näringsämnen som är särskilt skadliga om de lakas ut. Läckage av kväve och fosfor leder till övergödning och algbloomning (Yang et al. 2008; Smyth et al. 2022), vilket är mycket allvarligt då det drastiskt försämrar vattenkvaliteten och stör ekosystem genom att orsaka syrebrist samt födo- och habitatförlust (Smyth et al. 2022; Havs och Vattenmyndigheten 2023). När alger förmultnar frigörs koldioxid, vilket kan leda till att vattnets pH sjunker, vilket medför en risk för försurning (Havs och Vattenmyndigheten 2023). Kväveläckage kan också bidra till försurning, genom att läckage av kväveföreningar såsom ammonium och nitrat ökar andelen vätejoner vilket därmed sänker pH-värdet (Kunhikrishnan et al. 2016; Sullivan & Gadd 2019). Försurning har negativ inverkan på miljön, och kan leda till art- och habitatförlust vilket resulterar i en förlust av biodiversitet (Teixidó et al. 2018).

Det finns flera faktorer som påverkar näringsläckage och dess omfattning. Nederbördsintensitet, mängd näring i substratet, substrategenskaper, såsom porositet, vattenhållande förmåga (WHC/WRC) och hydraulisk konduktivitet, samt växters mineralisering och upptag av näring är avgörande för mängden näring som urlakas (Rashmi et al. 2017). Enligt Rashmi et al. (2017) är mängden näringsläckage direkt kopplat till koncentrationen av näringsämnen i substratet, och mängden avrinningsvatten. Studier har dessutom visat att växternas vitalitet påverkar mängden näringsläckage, där försämrad vitalitet kunde kopplas till ett ökat näringsläckage (Kuoppamäki & Lehvävirta 2016; Kuoppamäki et al. 2016; Michaud & Gan 2022).

2.5. Biokol

Biokol skapas genom pyrolys. Pyrolys innebär att ett material upphettas i en syrefri miljö, utan att förbränning sker (Leng & Huang 2018). Temperaturen för pyrolys är vanligtvis mellan 400-700 °C (ibid.). Vanligen tillverkas biokol av organiskt material och avfallsprodukter (Wang & Wang 2019). Beroende på vid vilken

temperatur pyrolysen sker, och vilket material som pyrolyseras får biokolet olika egenskaper (Gan et al. 2022). Biokol är ett koldioxidnegativt material, vilket innebär att biokol binder mer koldioxid än vad det avger och således reducerar koldioxidutsläpp (Chen et al. 2018; Gan et al. 2022).

Generellt är biokol ett basiskt material, med hög porositet och vattenhållande förmåga (Qianqian et al. 2019). Eftersom att biokol är basiskt, kan det buffra sur nederbörd, och höja pH-värdet i substratet (Zhang et al. 2019). Biokol har en mycket lång livslängd, uppåt flera hundra år (Gan et al. 2022), eftersom att det är ett strukturellt intakt material, med hög kapacitet att motstå förmultning (Cao et al. 2014).

Biokol kan användas som jordförbättrande tillsats. Både mängd och placering av den biokol som tillsätts varierar (Chen et al. 2018; Xiong et al. 2023). Antingen kan biokol blandas in och på så sätt fördelas och spridas i substratet, alternativt kan biokol placeras som ett lager eller skikt (Hunt et al. 2010).

Studier har visat att biokol ökar den vattenhållande förmågan, och att detta kan leda till att mängden växttillgängligt vatten ökar, och att den permanenta vissningspunkten förlängs (Cao et al. 2014; Chen et al. 2018; Akpinar et al. 2023). Biokol kan också öka mängden växttillgänglig näring, vilket potentiellt kan reducera näringsläckage genom ett ökat näringsupptag (Chen et al. 2018).

Biokol har låg densitet, vilket innebär att ett grönt tak med tillsats av biokol kan ha ett högre substratdjup än ett grönt tak utan biokol, utan att substratets vikt ökar (Cao et al. 2014). Detta möjliggör högre vattenmagasinerings, och ökad dagvattenfördröjning (ibid.), samtidigt som mängden lämplig vegetation kan öka (Lata 2018; Park et al. 2022). Detta kan leda till högre diversitet, och ökad biologisk mångfald. Biokol kan diversifiera mikroliv i substrat, vilket innebär flera fördelar såsom ökad vitalitet och potentiellt reducerat näringsläckage (Chen et al. 2018), vilket är viktigt i arbetet för hållbara städer.

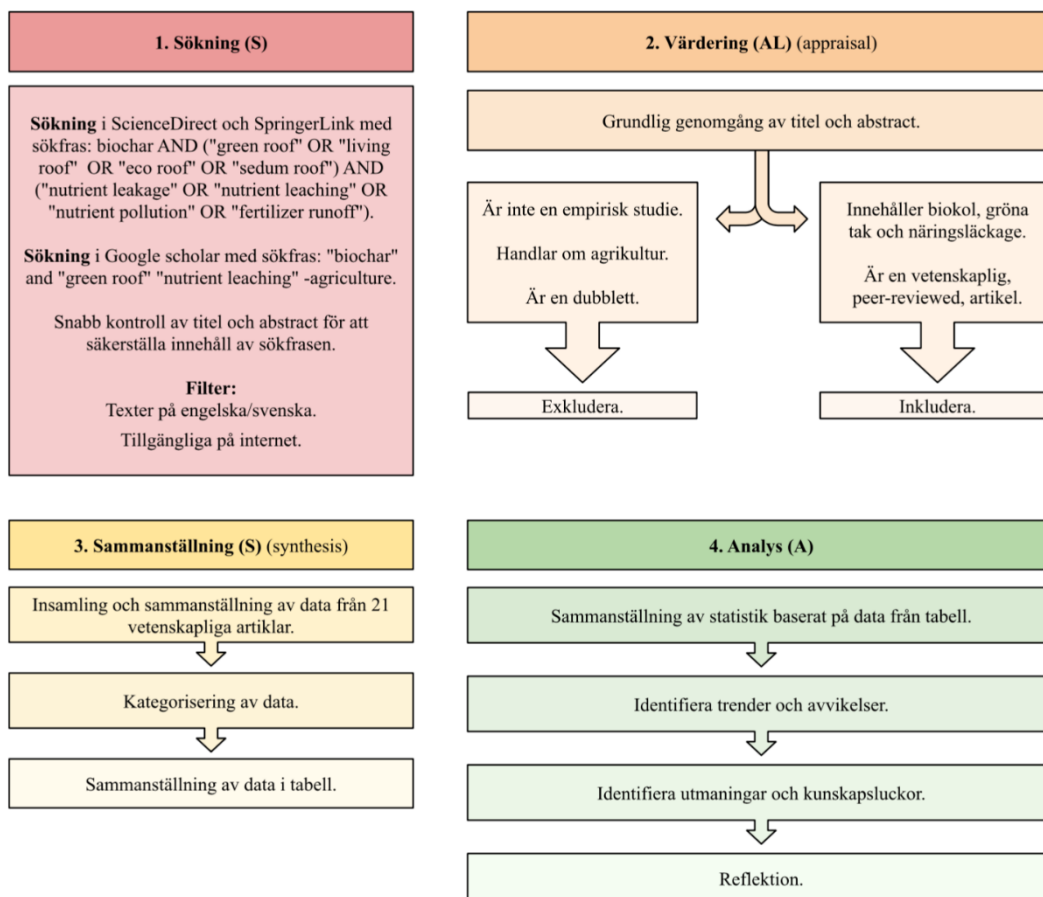
3. Metod

Detta examensarbete är en systematisk litteraturstudie av vetenskapliga artiklar. Metodkapitlet kommer att beskriva och redogöra för den systematiska litteraturstudien vilken genomförts enligt SALSA-metoden. Kapitlet kommer bland annat beröra källkritik, kritik av metod, nyckelbegrepp och olika sökfraser.

En litteraturstudie är ett objektivt tillvägagångssätt för att hitta och sammanställa all relevant information tillhörande ett förbestämt ämne eller forskningsområde (Kitchenham & Charters 2007; Mengist et al. 2020; Page et al. 2021). Det är av stor vikt att en litteraturstudie är grundlig och opartisk, då den annars har lågt vetenskapligt värde (Kitchenham & Charters 2007). Litteraturstudier sammanställer data och forskning, vilket skapar en tydlig överblick av befintligt material (Paul & Criado 2020). Detta leder till att forskningsluckor och framtida forskningsområden identifieras (ibid.).

I detta kandidatarbete tillämpas SALSA-metoden. SALSA är en förkortning av Search, Appraisal, Synthesis & Analysis (Grant & Booth 2009; Mengist et al. 2020) vilket kan översättas till sökning, värdering, sammanställning och analys. Metoden innebär att studien åtminstone i viss mån går att återskapa, vilket tillsammans med en systematiserad och redovisad sökning främjar objektivitet och transparens (Mengist et al. 2020).

SALSA-metoden inleds med en noggrann litteratursökning med nyckelord och fraser, där även viss filtrering av resultatet kan ske (se figur 2). I metodens efterföljande skede, värdering, kontrolleras resultat från databassökningen varefter irrelevanta eller felaktiga sökträffar avlägsnas. I detta skede kan även ytterligare filtrering ske efter viss genomgång, vilket säkerställer resultatens relevans. Här avlägsnas även dubletter. Under sammanställningen, metodens tredje skede, kategoriseras och sammanställs data och antalet relevanta sökträffar presenteras. I det avslutande skedet analyseras datasammanställningen. Eventuella brister och felkällor i forskningsmaterialet, samt trender, avvikelser och eventuella motsättningar identifieras. Analysen kan sedan användas för att besvara litteraturstudiens frågeställningar.



Figur 2. Flödestabell över de steg som ingår i SALSA-metoden.

3.1. Sökning

För att säkerställa att ingen information förbisågs, har litteratursökningen utförts på ett stort antal databaser. Litteraturstudien kommer att använda tre av dessa: Google Scholar, ScienceDirect och SpringerLink. Urvalet är baserat på vilka databaser som genererat flest relevanta resultat.

Initialt avgränsades litteraturstudien till material åtkomligt på internet, samt material författat på svenska eller engelska. Ytterligare en avgränsning var att enbart material där en empirisk studie genomförts skulle användas, därmed uteslöts litteraturstudier och liknande sammanställningar. Anledningen till att litteraturstudier uteslutits från detta arbete är för att enbart använda primärkällor, och förstahandsinformation.

3.1.1. Sökfraser

Sökfraser har utformats efter SLU-bibliotekets söktips (Sveriges lantbruksuniversitet 2024), vilket resulterat i ett flertal söktermer (se tabell 2).

Engelska termer och begrepp har använts för att generera så omfattande resultat som möjligt. De sökfraser som använts är blocksökningar, vilka använts då de kan anses vara särskilt fördelaktiga vid systematiska sökningar (Sveriges lantbruksuniversitet 2024).

Tabell 2. Identifiering av nyckelbegrepp och relaterade termer inför blocksökning.

Nyckelbegrepp	Relaterade termer
Gröna tak	Green roof, living roof, green walls, sedum roof, eco roof, brown roof, grass roof, turfed roof.
Näringsläckage	Nutrient leakage, nutrient leaching, nutrient pollution, eutrophication, fertilizer runoff, pollution, water pollution, contamination, nutrient loss, nutrient depletion.
Biokol	Biochar, biochar amendment.

3.1.2. Databassökning

Den första sökningen genomfördes med sökfrasen: "green roof" OR "living roof" OR "eco roof" OR "sedum roof" AND "nutrient leakage" OR "nutrient leaching" OR "nutrient pollution" OR "fertilizer runoff", vilket resulterade i ett mycket omfattande och brett resultat. Arbetet avgränsades sedan till att fokusera på biokol, gröna tak och näringsläckage, varefter sökfrasen omformulerades till: biochar AND ("green roof" OR "living roof" OR "eco roof" OR "sedum roof") AND ("nutrient leakage" OR "nutrient leaching" OR "nutrient pollution" OR "fertilizer runoff"). För Google Scholar användes sökfrasen: "biochar" and "green roof" "nutrient leaching" -agriculture. Resultatet över antal träffar presenteras nedan, i figur 3.

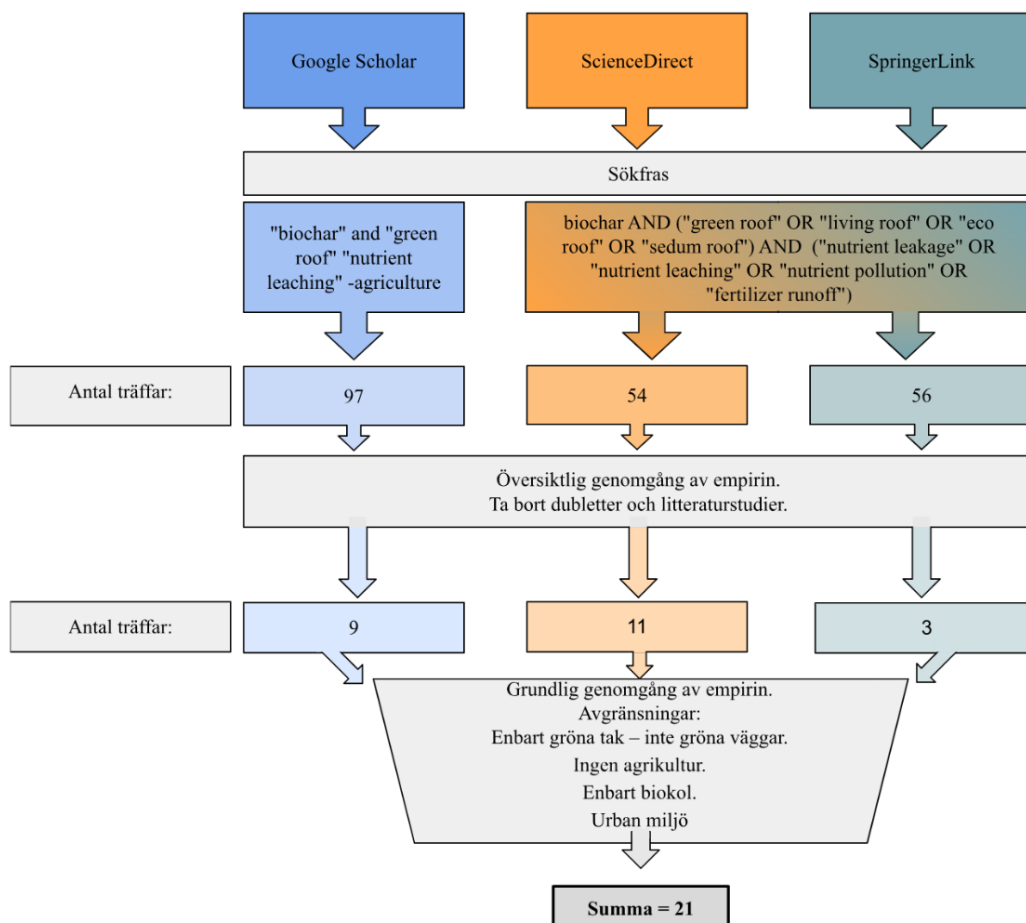
Utöver detta har kedjesökning tillämpats. Kedjesökning innebär genomgång av de referenser som andra författare använt i sitt arbete, vilket kan vara användbart då det kan innebära att ytterligare material erhålls (Umeå universitet 2022).

3.2. Värdering

Trots en förhållandevis specifik sökfras genererade vissa databaser irrelevanta resultat, vilka antingen helt eller delvis saknade koppling till det ämne detta examensarbete behandlar. Generella artiklar om gröna tak, utan fokus på näringsläckage och biokol saknar relevans för arbetets syfte och frågeställningar, och baserat på detta genomfördes ytterligare en avgränsning där nedanstående kriterier tillämpades för inkludering eller exkludering:

- Enbart gröna tak – inte gröna väggar
- Ingen agrikultur
- Enbart biokol
- Urban miljö

Den initiala sökningen resulterade sammanlagt i 207 sökträffar (Se figur 3). Denna summa representerar inte unika resultat, då en stor andel av materialet återfanns i flera olika databaser. Vid ytterligare filtrering där litteraturstudier, dubletter och irrelevanta resultat eliminerades, minskade resultatet från 207, till 23. Efter en grundlig genomgång av empirin tillämpades ovanstående avgränsningar, vilket resulterade i att det slutligen återstod 21 unika, ämnesrelevanta och vetenskapliga artiklar.



Figur 3. Resultat av databassökning, med olika sökfraser, avgränsningar och kriterier.

3.2.1. Källkritik

Samtliga källor har granskats, och har av författarna bedömts vara trovärdiga. Granskningen har skett genom tillämpning av den traditionella källkritiska metoden, vilken består av fyra principer för källkritik: äkthet, tidssamband, oberoende och tendensfrihet (Nationalencyklopedin u.å. d). Vidare används enbart primärkällor.

3.2.2. Kritik av metod

Litteratursökningen har inte utformats på ett sätt där värdeord inkluderats, vilket innebär att sökningen, i så stor utsträckning det är möjligt, varit objektiv. Dock finns det en risk att material innehållande negativa aspekter av biokol, gröna tak eller näringsläckage oavsiktligen utelämnats. Det går att spekulera kring huruvida resultatet varit annorlunda om sökningen utförts med värdeord, men det går inte att avgöra att så är fallet.

Exkluderingen av agrikultur på gröna tak kan ha inneburit en viss påverkan av resultatet, då de mest näringskrävande gröna taken genom denna avgränsning exkluderats från litteraturstudien. Detta kan innebära att det finns en förändrad, och mer omfattande problematik kring näringsläckage från gröna tak, men det kan också vara insignifikant. Denna avgränsning har uteslutit vilka potentiella möjligheter biokol kan innebära för reduktion av näringsläckage från agrikultur på tak, vilket även detta kan innebära att resultatet påverkats.

Det är möjligt att resultatet påverkats av samtliga avgränsningar, då dessa inneburit att en stor mängd källor inte inkluderats. Vidare går det att konstatera att litteraturstudien kunnat vara mer omfattande genom att avlägsna avgränsningar, något som däremot inte givits utrymme åt inom ramen för detta examensarbete. Trots detta har litteraturstudien ändå varit grundlig, systematisk, metodisk och förhållandevis omfattande, vilket bör innebära att resultatet ändå kan anses vara tillförlitligt.

Eftersom en avgränsning var att empirin författats på svenska eller engelska, kan detta ha påverkat mängden material som genererats under databassökningen. Dock var denna avgränsning nödvändig, eftersom litteraturstudiens författare inte behärskar andra språk än de två som listats, flytande. Vi antar att det kan ha funnits fler artiklar, vilka som en konsekvens av denna avgränsning exkluderats. Framst antas att det kan finnas fler artiklar på det kinesiska språket, eftersom att litteraturstudien upptäckt att det finns särskilt mycket forskning kring näringsläckage från gröna tak, och gröna tak generellt, i Kina.

I litteraturstudiens tidigaste skeden saknades grundläggande kunskaper kring vad en systematisk litteraturstudie är, och hur en sådan genomförs. Vi kan konstatera att en initialt ökad kunskap kring detta hade resulterat i att arbetet blivit mer systematiskt och mindre mödosamt. Som en konsekvens av vår initialt låga kunskap kring metoden har vi i många delar av arbetet behövt utföra extra arbete, vilket resulterat i att arbetets omfattning ökat. Exempelvis har de databassökningar som utförts inledningsvis inte varit så systematiska som vi önskat. Dock har, i takt med ökad kunskap kring metoden, litteratursökningen blivit systematisk och metodisk, men vägen dit har varit något omständlig. En av de delar av metoden vi önskar att vi tillämpat tidigare är SALSA-metoden, eftersom denna varit särskilt värdefull för litteraturstudiens arbetsprocess.

3.3. Sammanställning

Sammanställningen har skett i två faser. Under fas ett skedde individuell noggrann instudering av det material, innefattande de 21 källor vilka genererats under litteratursökningen. Detta innebar att båda författarna av kandidatarbetet individuellt bearbetade materialet, och noterade viktiga delar, nyckelbegrepp, avvikande resultat, och den generella slutsatsen för varje referens. Efter detta har den individuella bearbetningen diskuterats gemensamt. Under diskussionerna har anteckningar och noteringar jämförts och analyserats vilket gett upphov till vidare reflektioner där generella slutsatser kunnat fastställas. Detta arbete har varit mycket värdefullt då de olika författarna i varierande utsträckning antecknat olika saker. Om författarnas anteckningar avvikit från varandra, har detta diskuterats, och materialet har bearbetats ytterligare. Eftersom detta arbete, innefattande individuell bearbetning och gemensam diskussion, resulterat i en fördjupad förståelse och ökad kunskapsnivå, bedöms detta steg vara fundamentalt för processen.

Under den efterföljande fasen sammanställdes materialet, vilket innefattade både nyckelbegrepp, viktiga slutsatser, olika resultat och generella slutsatser, från fas ett. Detta utfördes genom att skapa en tabell (se tabell 3). Tabellen syftar till att skapa en tydlig överblick, och konkretisera materialet på ett sådant sätt att det blir hanterbart.

I tabellen har empirin kategoriserats baserat på fem parametrar: land, författare, årtal, typ av biokol och resultat. Dessa parametrar har använts då de bedömts bidra med viktig information, och bidrar till litteraturstudiens resultat. Parametrarna ger en överblick av empirin, med syfte att enkelt kunna identifiera trender.

Resultatparametern delades in i ytterligare tolv kategorier, då en sammanslagning av alla resultat riskerade att bli missvisande, och svårförstådd. Denna indelning

skapar en tydlig överblick och kommer i ett senare skede att utgöra underlag vid framtagning av statistik, samt tabeller och diagram. De tolv kategorierna skapades baserat på trender i empirins resultat, dock inkluderades även avvikande resultat, för att inte påverka litteraturstudiens resultat. Ytterligare underkategorier skapades där de tolv huvudkategorierna grupperades i fyra olika teman. Samtliga teman representerar empirins resultat, och inte litteraturstudiens.













I den första underkategorin ingår fyra färger, samtliga berör biokols påverkan på näringsläckage (se tabell 3). Två av färgerna, röd och ljusröd, representerar att biokol reducerar läckage av specifika näringsämnen, medan en av färgerna, grön, representerar att biokol reducerar näring generellt. Den sista färgen i underkategorin, orange, representerar empirin observerat att biokol potentiellt kan öka totalfosfor/fosfor (TP/P).

Underkategori två berör temat jordförbättring. Här ingår tre färger: gul, turkos och blå (se tabell 3). Gul representerar biokols förmåga att öka pH i substrat eller avrinningsvatten. Turkos och blå berör båda substratets vattenkapacitet.

Temat för den tredje underkategorin är vegetation. Denna underkategori omfattar tre färger (se tabell 3). Den första färgen, ljusrosa, representerar att empirin observerat att vegetation på gröna tak reducerar näringsläckage. Färgen magenta representerar att tillsats av biokol ökat tillväxt hos vegetation på gröna tak, och färgen grå representerar att biokol förlängt den permanenta vissningspunkten.

Den sista kategorin berör övriga faktorer, och omfattar två färger (se tabell 3). I denna kategori ingår ljuslila, vilken representerar att empirin observerat att kornstorlek eller vilket material biokolet tillverkas av påverkar dess egenskaper. Färgen mörklila representerar att empirin konstaterat att placeringen eller andelen biokol som tillsätts påverkar dess förmåga att reducera näringsläckage.

Tabell 3. Sammanställd data från databassökning och bearbetning av empirin.

Teckenförklaring			
Biokol påverkar näringsläckage	Jordförbättring	Vegetation	Övriga faktorer
 Biokol reducerar TN/N	 Biokol ökar pH	 Vegetation reducerar näringsläckage	 Storlek/sort biokol påverkar
 Biokol reducerar TP/P	 Biokol ökar WRC/WHC	 Biokol ökar tillväxt	 Placering/mängd biokol påverkar
 Biokol ökar TP/P	 Biokol ökar porositet	 Biokol förlänger permanent wilting point	
 Biokol reducerar näringsläckage			

Författare	År	Land	Typ av biokol/ sort	Resultat			
				Biokol påverkar närläckage	Jordförbättring	Vegetation	Övriga faktorer
Cao, C.T.N., Farrell, C., Kristiansen, P.E. & Rayner, J.P.	2014	Australien	Grönnavfall, 550°C				
Kuoppamäki, K., Hagner, M., Lehvävirta, S., & Setälä, H.	2016	Finland	Lövträd, 380-420 °C				
Kuoppamäki, K. & Lehvävirta, S.	2016	Finland	Lövträd, 380-420 °C				
Kuoppamäki, K., Setälä, H. & Hagner, M.	2021	Finland	Lövträd 380-420 °C				
Kuoppamäki, K. Prass, M. & Hagner, M.	2023	Finland	Lövträd mix, 450 -C				
Liao, W., Drake, J & Thomas, S.C.	2022a	Kanada	Barträd				
Liao, W., Drake, J & Thomas, S.C	2022b	Kanada	Barträd, 625°C				
Liao, W., Drake, J. & Thomas S.C.	2023	Kanada	Barträd				
Chen, H., Mac, J., Wei, J., Gong, X., Yu, X., Guo, H. & Zhao, Y.	2018	Kina	Slam, 600 °C				
Qianqian, Z., Liping, M., Huiwei W. & Long, W.	2019	Kina	Kokosnötsskal, 600 °C				
Qiu, D., Peng, H., Li, T. & Qi, Y.	2020	Kina	Slam, >600 °C				
Chen, H., Du, H., Lai, M., Nazhafati, M., Li, C., & Qi, W.	2021	Kina	Slam, 600 °C				
Meng, R., Zhang, Q., Li, D. & Wang, H.	2021	Kina	Kokosnötsskal				
Gan, L., Garg, A., Huang, S., Wang, J., Mei, G. & Zhang, K.	2022	Kina	Risskal, 500 °C				
Xu, C., Liu, Z., Cai, G. & Zhan, J.	2022	Kina	Löv- och barrträd				
Guo, H., Zhang, Q., Chen, Y. & Lu, H.	2023	Kina	Jordnötsskal, 500 °C				
Xiong, W., Li, J., Wang, H., Wu, Y., Li, D. & Xue, J.	2023	Kina	Majs- och risskal, 450-650 °C				
Petreje, M., Sněhota, M., Chorazy, T., Novotný, M., Rybová, B. & Hečková, P.	2023	Tjeckien	Slam med tegelinblandning				
Beck, D.A., Johnson, G.R. & Spolek, G.A.	2011	USA	70% skal, 30% bildäck.				
Akpınar, D., Chowdhury, S., Tian, J., Guo, M., Barton, S. & Imhoff, P.T.	2023	USA	Barträd, 550 °C				
Goldschmidt, A. & Buffam, I.	2023	USA	Lövträd mix, 500-700 °C				

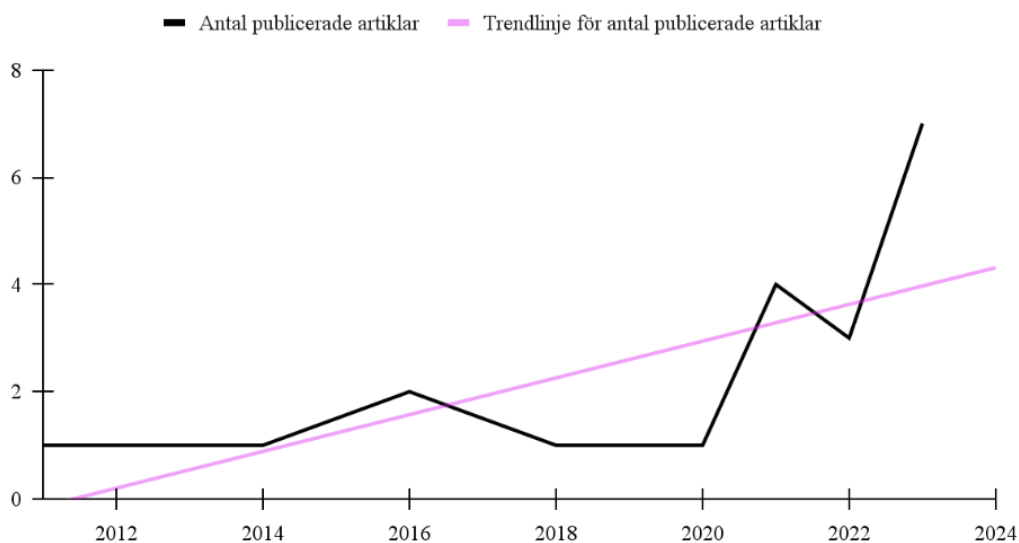
4. Resultat och diskussion

Detta kapitel inleds med en deskriptiv översikt av den empiri vilken litteraturstudien baserats på. Vidare besvaras frågeställningar, och slutligen förs en diskussion kring hållbarhetsaspekter.

4.1. Publiceringsår

Majoriteten av empirin publicerades under 2010- och 2020- talen. Inga artiklar inom ämnet återfinns tidigare än år 2011. Varför ingen empiri återfinns innan 2011 är svårt att fastställa. Dock kan detta sammanfalla med att 2011 var ett rekordår för klimatförändringar, där både svår torka och översvämningar drabbade flera länder (Lindsey 2013), vilket genererade ett ökat intresse av att arbeta mot klimatförändringar (Nepal Law Commission Climate Change Policy 2011/2067). Att den första artikeln är publicerad i USA, ett land som under just år 2011 drabbades hårt av torka, skogsbrand, översvämning, orkan, cyklon och tornado (National Centers for Environmental Information 2012) styrker detta antagande.

Det går att se en tydlig trend där antalet artiklar ökar med tiden (se figur 5). Under 2010-talet publicerades sammanlagt sex stycken artiklar. Under 2020-talet skedde en kraftig ökning, där resterande 16 artiklar publicerades. Denna kraftiga ökning kan tolkas som att näringsläckage från gröna tak, och hur man kan motverka det, blivit ett mer aktuellt, och populärt ämne, något som kan kopplas till en allmän ökning av klimatmedvetenhet (Ruiz 2023). Därtill återfinns en tydlig ökning av klimatförändringar, och dess påverkan, under denna period (World Meteorological Organization 2023), vilket ytterligare skulle kunna vara en bakomliggande faktor till ökningen av forskning inom området. Det år under vilket flest artiklar publicerats är 2023, vilket ytterligare signalerar ett ökat intresse för ämnet. Genom observation av trendlinjen i figur 5 konstateras att antalet artiklar som publiceras om detta ämne kommer att fortsätta öka.



Figur 4. Antal publicerade artiklar i empirin med respektive årtal.

4.2. Antal författare

Oftast har de artiklar som utgör empirin varit författade av flera olika författare. Vanligast var att empirin skrivits av fyra olika upphovspersoner, och det var enbart två artiklar som skrivits av två personer. Att merparten av empirin författats av ett stort antal personer är enligt oss en styrka, eftersom att artiklar med flera upphovspersoner är mer trovärdiga, förutsatt att författarna individuellt kan bedömas som trovärdiga. Dock är detta inte en garanti för trovärdighet eller kvalitet, vilket är varför även en kritisk granskning av författarna behövs, vilket vi utfört under värderingsskedet.

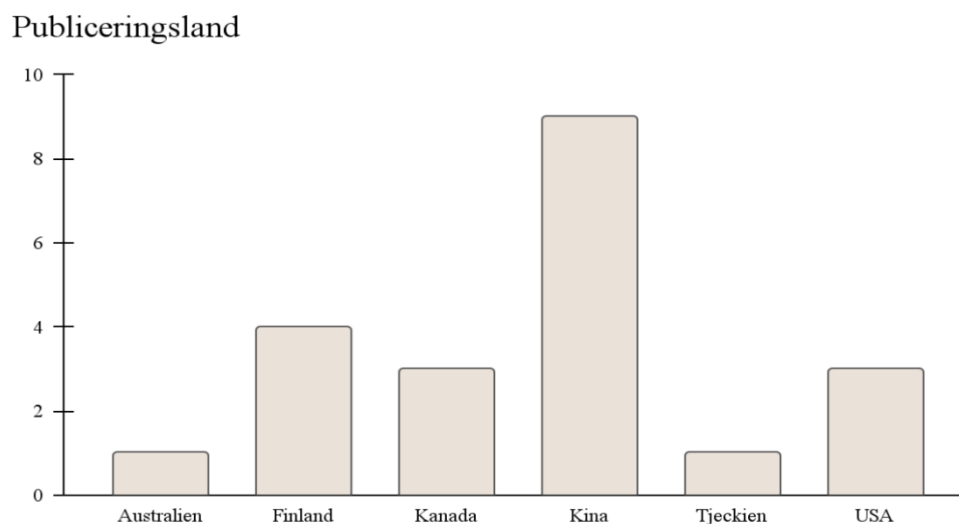
4.3. Ursprungsland

Det är tydligt att majoriteten av empirin, nio av 21 studier, författats av kinesiska forskare vid kinesiska universitet (se figur 6). Detta kan antas bero på att den kinesiska regeringen utfärdat ett särskilt ekonomiskt bistånd till forskning inom området dagvattenhantering, och framförallt konceptet "sponge city", vilket utgör ett ekonomiskt incitament till att bedriva forskning inom området (Rau 2022). Begreppet "sponge city" kan kortfattat förklaras som innovativa gröna lösningar i urban miljö för att hantera dagvatten (ibid.).

Det näst vanligaste ursprungslandet är Finland, där fyra av 21 artiklar publicerats av finländska författare. Jämfört med de nio studier som publicerats av kinesiska författare, kan antalet artiklar publicerade av finländska författare anses vara av

mindre vikt. Dock är det av stor vikt att framföra att det finländska klimatet på många sätt är mycket likt det klimat vi har i Sverige, vilket gör resultaten från de finländska studierna mer relevanta för oss i Sverige, än vad de kinesiska studierna är. Artiklar publicerade av författare från USA och Kanada återfinns tre gånger vardera i empirin (se figur 6), och artiklar publicerade av författare från Australien och Tjeckien återfinns en gång vardera.

Det går mot bakgrund av detta att konstatera att det saknas material från en mycket stor del av världen. Enbart sex olika länder har publicerat material inom detta ämne. Från kontinenterna Sydamerika och Afrika, vilka sammanlagt innefattar 64 olika länder, har inget material lokaliserats, något som kan antas bero på att sökfraser utformats på engelska. Detta innebär att eventuella skillnader i hur biokol potentiellt reducerar näringsläckage i dessa kontinenter och klimat saknas i litteraturstudien.



Figur 5. Antal publicerade artiklar från respektive ursprungsland.

4.4. Upphovsperson

Samtliga fyra finländska artiklar har författats av och/eller med Kirsi Kuoppamäki, vilket innebär att samtliga fyra finländska artiklar delvis har samma upphovsperson. Detta skulle kunna innebära att resultatet av litteraturstudien påverkats i en viss riktning, då en individ förekommer i flera olika studier, vilket kan innebära att empirins resultat därmed kan riskera att bli likartat. Detta kan dock med enkelhet avvisas genom att det i tabell 3 (se tabell 3) går att observera ett stort antal skillnader i de olika finländska artiklarnas resultat. Dock bör det noteras att samtliga finländska artiklar använt biokol skapat av lövträd i sin forskning. Eftersom att

biokol har olika egenskaper beroende på dess tillverkningsmaterial, kan påverka litteraturstudiens resultat genom en reducerad variation i empirins resultat.

Denna trend, där samma upphovsperson förekommer flera gånger, går att se även i övrig empiri. De tre artiklarna med Kanada som ursprungsland är samtliga författade av Liao, W., Drake, J. och Thomas S.C, vilket innebär att upphovspersonerna bakom dessa artiklar är identiska. Återigen finns en resultatvariation i empirin, men samtliga kanadensiska studier har använt biokol tillverkat av barrträd. Även empirin från Kina har återkommande medförfattare, dock i en mindre utsträckning än de tidigare två exemplen. I den kinesiska empirin varierar vilken sorts biokol som använts i stor utsträckning, då både slam, olika skalprodukter, och trä-baserad biokol använts.

4.5. Klimatzon

Resultatet av den litteratur vi läst skiljer sig, vilket kan bero på att ingen geografisk avgränsning applicerats. Detta innebär att litteraturstudiens resultat innefattar studier utförda i fyra av de fem klimatzonerna (tropisk, arid, varmtempererad, kalltempererad och polar) enligt Köppens klimatklassificering (Nationalencyklopedin u.å. c) (se figur 7).

Sammanlagt har åtta studier utförts i Finland, Kanada och Tjeckien, vilka har kalltempererade klimat. Ett kalltempererat klimat innebär att medeltemperaturen under åtminstone en av årets tolv månader överstiger $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ och att medeltemperaturen under en av de tolv månaderna understiger $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Nationalencyklopedin u.å. c). I denna klimattyp är nederbördsintensitet och omfattning vanligen störst under höst och vinter (ibid.). Vegetationen i denna klimatzon domineras av barrskog.

Empirin omfattar en studie från Australien, som ingår i ett par olika klimatzoner, men är till största del ett arid klimat, också kallat ökenklimat. För att ett klimat ska bedömas vara ett arid klimat så behöver eventuell avdunstning året runt vara konsekvent högre än nederbörden (Beck et al. 2023).

På grund av landets storlek och stora variation i latitud, innehåller Kina alla fem klimatzoner (Wang et al. 2015). Men i sju av de nio studier genomförda i Kina nämns det att området har ett monsunklimat, vilket antyder att studien utförts inom Kinas tropiska klimatzon. I denna typ av klimat överstiger den årliga nederbörden den årliga avdunstningen. Medeltemperaturen per månad är alltid minst $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Likt Kina, är även USA ett stort land vilket därmed innefattar flera klimatzoner. De tre studier som ingår i empirin är genomförda i delstaterna Delaware, Ohio och Oregon. Både Oregon och Delaware är varmtempererade, medan Ohio är kalltempererat, liksom Finland, Kanada och Tjeckien. Varmtempererade klimat särskiljer sig från kalltempererade, där minst en månad om året har en medeltemperatur mellan $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ och $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Nationalencyklopedin u.å. c). Minst en månad om året ska överstiga $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ibid.).



Figur 6. Karta över de olika klimat där empirin publicerats. Skapad med [MapChart](#), används under [CC BY-SA 4.0](#).

Sammanfattningsvis innebär detta att empirins resultat kan skilja sig i stor utsträckning, eftersom att vilket klimat empirin utförts i är varierande. Studier utförda i monsunklimat kan potentiellt ha ett resultat av ett ökat näringsläckage, då de har större nederbörd än andra klimat. På samma sätt kan detta innebära att studier i klimat med låg nederbörd får ett resultat med mindre näringsläckage då nederbörden är mindre. Även under vilken säsong studien utförts kan påverka, eftersom vissa klimat har huvudsakligen nederbörd i perioder, såsom kalltempererade klimat vars nederbörd primärt är under höst och vinter (Wang et al. 2015). Eftersom empirin omfattar nästintill samtliga klimatzoner kan litteraturstudiens resultat antas vara representativt.

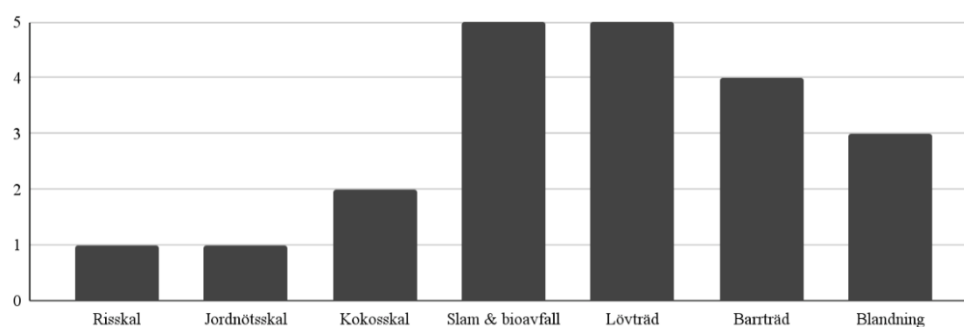
Utöver klimatzon, är det viktigt att beakta under vilken tidpunkt empirin genomförts, särskilt för kalltempererade klimat. Flera studier har observerat att mängden näringsläckage varierar med säsong (Cao et al. 2014; Kuoppamäki & Lehvävirta 2016; Kuoppamäki et al. 2016; Xiong et al. 2023). Xiong et al. (2023) menar att växter under dess tillväxtperiod förbrukar mer näring, vilket resulterar i att det därmed finns mindre andel obunden näring i jorden. Senare på året avtar tillväxten vilket medför att avrinningsvattnet tenderar att ha en högre koncentration

av näringsämnen. Vid snösmältning uppger Kuoppamäki et al. (2016) att näringsinnehållet i avrinningsvattnet ökar. Detta menar Kuoppamäki et al. (2016) kan bero på att snösmältning innebär en ökad andel dagvatten, vilket medför ökad urlakning.

4.6. Olika sorters biokol

Empirin har använt biokol tillverkat av omkring 8 olika material och blandningar. De vanligaste biokolmaterialen är lövträd, samt slam- och bioavfall (se figur 8). Ett mindre antal studier har använt biokol tillverkad av barrträd, och olika skalprodukter. En vanlig trend som kunnat observeras är att det primärt är empirin från Kina som använt biokol tillverkad av olika skalprodukter, och att det i empirin från Finland, Kanada och USA varit vanligast att använda biokol tillverkat av barr- och lövträd. Att träbaserad biokol är vanligast i kalltempererade klimatzoner kan bero på att dessa zoner har god förekomst av skog, där Kanada uppges vara en av världens största exportland av virke (The Observatory of Economic Complexity 2022). Dock bör det noteras att Kina år 2022 var världens största exportland av virke (ibid.), vilket innebär att de har goda förutsättningar att tillverka biokol av trä.

Förekomst av olika biokolstyper



Figur 7. Förekomst av olika tillverkningsmaterial för biokol i empirin.

4.7. Översikt

Sammanfattningsvis går det att konstatera att empirin har god variation, bland annat avseende upphovsperson, upphovsland, klimatzon och vilken typ av biokol som använts. Den goda variationen bidrar till att skapa en tydlig, nyanserad, och övergripande bild av forskning, och studier inom området. Det noteras att vissa aspekter, såsom empiri från 2000-talet, empiri från Afrika och Sydamerika, samt empiri från polar klimatzon saknas.

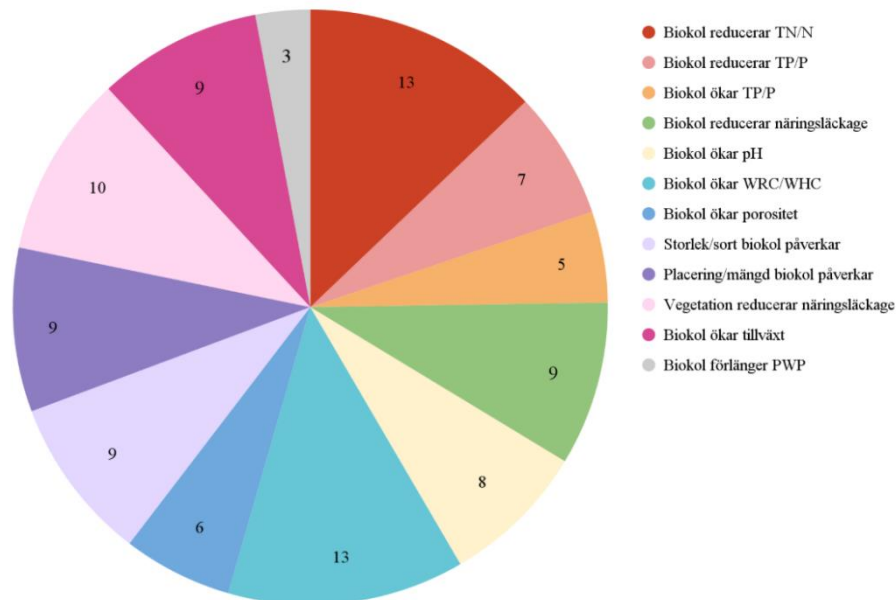
4.8. Svar på frågeställningar

Under detta avsnitt kommer litteraturstudiens sex frågeställningar att besvaras.

4.8.1. Kan biokol användas för att helt undvika, alternativt reducera, näringsläckage från gröna tak?

Nio av 21 studier fokuserade på att analysera huruvida biokol kunnat användas för att reducera näringsläckage (se figur 9). 13 studier har undersökt och konstaterat att biokol specifikt reducerat näringsläckage av TN/N, och sju studier har konstaterat att "biokol minskar TP/P". Antalet studier vars resultat över huvud taget påvisat att biokol minskar näringsläckage, antingen av näringsämnen generellt eller en minskning av läckage av ett enskilt näringsämne, är 16 av 21. Enbart en (Petreje et al. 2023) av de fyra studier som konstaterat att biokol kan öka fosforläckage uppgav att biokol enbart ökar läckage av fosfor, och inte reducerar det. Övriga tre studier (Kuoppamäki et al. 2016; Kuoppamäki & Lehvavirta 2016; Xiong et al. 2023) visade att biokol både har en potential att öka- och reducera näringsläckage.

Kuoppamäki et al. (2016) menar att biokol reducerar det sammantagna näringsläckaget från gröna tak, och att biokol i hög utsträckning reducerar kväveläckage, men även i viss utsträckning reducerar fosforläckage, vilket styrks av bland annat Liao et al. (2022b), Akpinar et al. (2023) och Goldschmidt och Buffam (2023). Detta är något vi anser överensstämmer med merparten av empirin, vilket indikerar att biokol kan reducera näringsläckage.



Figur 8. Sammanställning av empirins resultat presenterat i ett cirkeldiagram.

4.8.2. Kan biokol förbättra substrategenskaper?

Fyra (Cao et al. 2014; Chen et al 2018; Liao et al 2022a; Guo et al. 2023) av de 21 artiklar, vilka litteraturstudien studerat, saknar resultat inom kategorin “biokol påverkar näringsläckage” (se tabell 3). Detta beror främst på att respektive studie inte sett en signifikant ökning eller minskning av näringsläckage, och därför istället valt att fokusera på andra faktorer som varit mer framträdande; såsom att biokol ökat substratets porositet och WRC/WHC. Den jordförbättrande potentialen som biokol har är en förklaring till varför biokol minskar näringsläckage. Nyetablerade (extensiva) gröna tak har generellt störst andel av näringsläckage, och den avgörande faktorn för koncentrationen och mängden näringsläckage är substratets egenskaper (Xiong et al. 2023).

Substratets porositet har en direkt påverkan på dess vattenhållande förmåga, då mindre porer är bättre på att hålla vatten, och därav också bättre kan binda obundna näringsämnen i jorden (Ramesh et al. 2019). Sju av 21 studier konstaterar att biokol förbättrat substratets porositet, och 13 studier visar att biokol förbättrar jordens vattenhållande förmåga (WRC/WHC) (se figur 9). En god vattenhållande förmåga är särskilt viktigt för gröna tak eftersom en del av dess funktion är fördröjning av dagvatten.

Sambandet mellan porositet och vattenhållande förmåga har noterats av Liao et al. (2022b), vilka vid en jämförelse av två sorters biokol, granulerat och obehandlad, kunnat observera att ena sortens biokol (obehandlad), vars porositet varit högre, haft mindre avrinning, och därmed även en större vattenhållande förmåga. Även Cao et al. (2014) observerar detta samband.

pH påverkar näringsinnehållet i substrat. Vissa näringsämnen blir mer lösliga i sura miljöer, vilket kan öka mängden växttillgänglig näring. Ett exempel på ämne som gynnas av en sur miljö är aluminium (Al), vilket vid högre koncentrationer är giftigt för växter (Magnusson 2003). Däremot innebär ett för högt pH att substratet blir alkaliskt, vilket medför att andra näringsämnen, såsom fosfor (P), blir mindre växttillgängliga (Magnusson 2003). Nästan hälften av empirin, åtta av 21 artiklar, uppger att biokol har en pH-höjande effekt.

Xiong et al. (2023) samt Goldschmidt och Buffam (2023) menar att biokol kan förbättra pH-värdet för avrinningsvatten. Detta uppger Xiong et al. (2023) beror på att biokol kan buffra avrinningsvattnets pH-värde. Goldschmidt och Buffam (2023) menar också att biokolets höga katjonutbyteskapacitet också innebär att det har en buffrande effekt. Också Gan et al. (2022) uppger att biokol kan höja substratets pH-värde, men i denna studie framhävs att en för hög mängd tillsatt biokol kan utgöra

en potentiell risk då det kan innebära att näringsämnen blir otillgängliga för vegetation.

4.8.3. Kan vegetation påverka näringsläckage?

Tio av 21 studier konstaterar att vegetation påverkar näringsläckage från gröna tak (se figur 9). När vegetationen haft hög vitalitet och god tillväxt har reducerat näringsläckage observerats från gröna tak, då vegetationen förbrukat eller använt mer av den tillgängliga näringen. Detta konstaterar bland annat Kuoppamäki et al. (2016), vilka även observerat ett ökat näringsläckage när vegetationen till följd av långvarig torra vissnat. Även Liao et al. (2022b) drar liknande slutsatser och finner samband mellan reduktion av näringsläckage genom förekomst av vegetation. Vi kan konstatera att det när vegetation förbrukar näring sker en reduktion av mängden näring i substratet, vilket innebär att mängden näring i avrinningsvattnet minskar.

Det går också att konstatera att vegetation reducerar näringsläckage i högst utsträckning under tillväxtperioden. När vegetationens biomassa ökar, minskar det totala näringsläckaget (Liao et al. 2022b). Även det motsatta kan konstateras, då flera studier observerat ett ökat näringsläckage av både fosfor (Liao et al. 2022b) och kväve (Kuoppamäki et al. 2016) där vegetationens vitalitet och etablering varit bristfällig. Vi kan konstatera att det är viktigt att förutsättningarna för vegetation på gröna tak är tillfredsställande, eftersom vegetation spelar en mycket viktig roll avseende mängden näring i avrinningsvattnet (Goldschmidt & Buffam 2023).

Vegetation i kombination med biokol reducerar näringsläckage i större utsträckning än biokol med avsaknad av vegetation, detta menar bland annat Kuoppamäki et al. (2016) och Goldschmidt och Buffam (2023). När ett grönt tak innehöll biokol, samt vegetation, reducerades mängden kväve i större utsträckning än när det gröna taket enbart innehöll biokol (Goldschmidt & Buffam 2023). Goldschmidt och Buffam (2023) menar att detta beror på att biokol kan binda näringsämnen i rotzonen hos vegetation, vilket kan innebära att näringsämnen blir mer tillgängliga. Liao et al. (2022b) fastslår i sin studie att den lägsta näringshalten i avrinningsvattnet från gröna tak observerats vid förekomst av både biokol och vegetation. Vidare menar Liao et al. (2022b) att biokol och vegetation särskilt effektivt reducerade läckage av totalt kväve (TP) och kalium (K), samt mikronäringsämnen såsom magnesium (Mg) och kalcium (Ca).

Biokol har bevisats förlänga den permanenta vissningspunkten (PWP), och således fördröja vissning. Detta uppger Cao et al. (2014) beror på att biokol ökar den vattenhållande förmågan (WHC). I sin studie finner Cao et al. (2014) att vissningspunkten hos vegetation kunde förlängas i omkring två dagar när substratet förbättrats med biokol, vilket de härleder till att biokol ökar mängden

växttillgängligt vatten. Detta menar Cao et al. (2014) förbättrar förutsättningarna för vegetationens överlevnad. Även Chen et al. (2018) observerar att biokol kan fördröja den permanenta vissningspunkten, och öka mängden växttillgängligt vatten.

Eftersom studier observerat att näringsläckage ökar när vegetationen har försämrats, eller ingen vitalitet (Kuoppamäki et al 2016; Liao et al. 2022; Goldschmidt & Buffam 2023), anser vi att det är värdefullt att genom jordförbättringsmedel, såsom biokol, kunna fördröja vissning, och den permanenta vissningspunkten; något som kan reducera näringsläckage.

Biokol har visats kunna förbättra vitalitet, och öka tillväxt. Akpinar et al. (2023) har observerat att vegetation i substrat förbättrade med biokol hade ökad tillväxt. Denna effekt observeras även av Guo et al. (2023), vilka finner en drastisk ökning av biomassa när biokol används som tillsats i substratet. Vidare observerar Guo et al. (2023) att den vertikala tillväxten hos vegetation i substrat förbättrat med biokol ökar uppemot 100%. Även Chen et al. (2018) observerar vad de benämner som en signifikant ökad tillväxt, när substratet förbättrats med biokol. Dock menar Cao et al. (2014) att biokol inte påverkat vegetationens tillväxt, något de härleder till att den typ av biokol de använt i sin studie har ett lågt näringsinnehåll.

Trots att uppgifterna kring huruvida biokol ökar tillväxt eller inte, är det tydligt att antalet studier som avvisar detta är långt färre än antalet som istället styrker, och fastslår, påståendet. Vi tolkar detta som att biokol kan öka tillväxt hos vegetation, men att tillväxtökningens omfattning till viss del kan vara avhängig vilken typ av biokol som används.

Ett antal studier har analyserat hur biokol påverkar mikrolivet i substrat. Chen et al. (2018) uppger att tillsatsen av biokol i substrat innebar en kraftig ökning av mikrolivet, vilket de anser beror på att biokol ökar porositet, substratfuktighet, temperatur och vegetativ tillväxt. Den sammantagna bedömningen av Chen et al. (2018) är att biokol har positiva effekter på mikroliv. Ytterligare studier uppger att biokol visat direkt påverkan på och förbättring av mikrobiell diversitet (Chen et al. 2021). Vi anser att biokol kan förbättra mikrolivet i substrat, vilket i sin tur kan förbättra, och öka förutsättningarna för tillväxt, vilket slutligen kan innebära reducerat näringsläckage.

4.8.4. Vilka faktorer påverkar biokolets förmåga att reducera näringsläckage?

Det har tidigare etablerats att biokolets egenskaper, såsom porositet, vattenhållande förmåga och liknande, påverkas av vilket tillverkningsmaterial som används, samt

under vilket temperatur pyrolysen sker (Huang et al. 2022). Detta fastslås av nio av 21 studier i empirin (se tabell 3).

Cao et al. (2014), har utfört sin studie med biokol tillverkat av grönavfall. I sin studie uppger Cao et al. (2014) att de inte sett en signifikant ökning av vegetativ tillväxt vid jordförbättring med biokol, vilket de härleder till det råmaterial vilket biokolet i studien tillverkats av. Cao et al. (2014) jämför det biokol de använt, vilket uppges ha ett lågt näringsinnehåll, med biokol som tillverkats av skalprodukter. Cao et al. (2014) konstaterar att biokol tillverkat av skalprodukter har ett högre näringsinnehåll, vilket kan medföra att denna typ av biokol kan öka tillväxt, trots att den typ av biokol de använt inte uppvisat samma resultat. Kuoppamäki et al. (2023) konstaterar att resultatet i deras studie kan ha påverkats av det material biokolet tillverkats av, något som också Kuoppamäki et al. (2016) och Xiong et al. (2023) uppger.

Cao et al. (2014) menar att biokol tillverkat av större material, såsom lövträd, innebär att substratets egenskaper generellt sett förbättrats i större utsträckning än om biokolet istället tillverkats av mindre material, såsom olika skalprodukter. Detta uppger Cao et al. (2014) beror på att större material har större porvolym, vilket bland annat uppges kunna innebära en förbättrad vattenhållande förmåga. Cao et al. (2014) menar i sin analys att skillnader i vattenhållande förmåga hos olika tillverkningsmaterial (för biokol) är vanligt. Det kan krävas en större andel biokol tillverkat av mindre material, såsom skalprodukter, för att uppnå samma effekt som exempelvis biokol tillverkat av löv- och barrträd har på den vattenhållande förmågan (ibid.).

En fördel med biokol tillverkat av mindre material, såsom skalprodukter och slam är dock enligt Cao et al. (2014) att denna typ av biokol har en större effekt på vegetativ tillväxt än vad som observerats hos biokol tillverkat av löv- och barrträd eller grönavfall. Detta uppges bero på att de mindre materialen innehåller mer näring, och genom detta sker en ökning av substratets näringsinnehåll (ibid.). Detta bör dock inte tolkas som att biokol tillverkat av större material helt saknar näring, utan snarare som att de innehåller en mindre mängd näring, vilken enligt Cao et al. (2014) frigörs långsamt.

Studier har undersökt både malet biokol (granulerat), samt obehandlat biokol (unprocessed). Liao et al. (2022b) konstaterar att obehandlat biokol mer effektivt reducerade näringsläckage än behandlat biokol. Dock framhäver Liao et al. (2022b) att malet biokol reducerade mängden totala lösliga ämnen (TSS) bättre än obehandlat biokol, samt hade en bättre neutraliserande effekt på avrinningsvattnets pH-värde. I en annan studie menar dock Liao et al. (2023) att malet biokol förbättrar

avrinningsvattnets kvalitet bättre än obehandlat biokol. Denna avvikelse tros bero på att mängden totala lösliga ämnen, spelar en viktig roll vid fastställande av avrinningsvattnets kvalitet. Den senare studien, Liao et al. (2023), framför inte att näringsläckage reduceras bättre vid tillsats av malet biokol, utan enbart att denna typ av biokol förbättrar avrinningsvattnets kvalitet generellt, vilket även återfinns i Liao et al. (2022b). Vi anser att det tydligt går att se skillnad på effekterna av malet och obehandlat biokol. Precis som Liao et al. (2022b) anser vi att den huvudsakliga fördelen med malet biokol är dess reduktion av TSS samt neutralisering av avrinningsvattnets pH-värde. Dock bör framföras att biokol generellt, oavsett förekomst eller avsaknad av behandling, har en pH-höjande effekt. En eventuell förbättring av denna effekt kan därmed anses vara insignifikant, och försumbar, i förhållande till att obehandlad biokol kan reducera näringsläckage.

Vi kan fastställa att placering, storlek, mängd och tillverkningsmaterial spelar en stor roll för huruvida biokol kan användas för att reducera eller helt undvika näringsläckage. Mot bakgrund av detta anser vi att det krävs fler studier där olika tillverkningsmaterial, placering, och storlek av biokol jämförs, under identiska förutsättningar, för att fastställa vilken typ av biokol som i högst utsträckning reducerar näringsläckage. Med avsaknad av detta går det enbart att konstatera att biokol förbättrar substratets egenskaper, och reducerar näringsläckage.

En del studier har undersökt huruvida placering eller tillämpningsmetod av biokol påverkar reduktionen av näringsläckage. Kuoppamäki et al. (2016) har i sin studie både använt biokol placerat i nätpåsar i botten av substratet, samt biokol placerat som ett lager ovanpå substratet. Kuoppamäki et al (2016) konstaterar att det substrat med biokol i nätpåsar placerade i botten reducerade näringsläckage i större utsträckning än det substrat där biokol placerats överst. Samma studie uppger att den totala reduktionen av totalt fosfor var 25% för biokol i nätpåsar placerat nederst, och 10% för biokol placerat ovanpå substratet (Kuoppamäki et al. 2016). Detta anser vi indikerar att placeringen av biokol kan påverka hur effektivt, och i vilken utsträckning, biokol kan reducera näringsläckage.

Även Gan et al (2022) menar att placeringen av biokol påverkar reduktionen av näringsläckage. Gan et al. (2022) undersöker hur tjockleken av ett lager biokol, och dess placering, mätt i antal centimeter från toppen av substratet, påverkar reduktionen av näringsläckage. De konstaterar att nivån på vilken ett lager biokol placerats är avgörande (Gan et al. 2022).

Mängden tillsatt biokol i substratet har visats spela roll för vilka egenskaper substratet har, och hur effektivt näringsläckage reduceras. Flera studier har undersökt olika procent biokol tillsatt i jorden, däribland Chen et al. (2018), Cao et

al. (2014) och Guo et al. (2023). Chen et al. (2018) konstaterar att det vid 10-15% tillsatt biokol gick att se de tydligaste effekterna på mikrobiell- och vegetativ tillväxt. Vidare uppger Chen et al. (2018) att de i sin studie kunnat observera att 10-15% tillsatt biokol var den optimala mängden för att reducera substratets temperatur och öka vattenhållande förmåga, vegetativ- och mikrobiell tillväxt. Liknande mängder föreslår även Kuoppamäki et al. (2016), vilka uppger att 7% tillsatt biokol ökade den vattenhållande förmågan, samt reducerade näringsläckage av både makro- och mikronäringsämnen. Kuoppamäki et al. (2016) uppger även att 10% tillsatt biokol ökade vegetativ tillväxt och produktionen av biomassa. Cao et al. (2014) uppger att effekten av biokol ökade med mängden tillsatt biokol, där 40% tillsatt biokol drastiskt förbättrade substratets vattenhållande förmåga. Även Chen et al. (2018) menar att en ökad andel tillsatt biokol medför ökad vattenhållande förmåga, och porositet, samtidigt som densiteten minskar.

En mer restriktiv mängd föreslås av Guo et al. (2023), vilka i sin studie menar att 5% tillsatt biokol är starkt rekommenderat, då denna mängd tillsatt biokol både ökar vegetativ tillväxt, samt förbättrar substratets vattenhållande förmåga, särskilt vid torra. Detta förhållningssätt kan vara eftersträvansvärt, då Chen et al. (2018) uppger att bland annat mikrolivet i substratet påverkades negativt av att 20% biokol tillsattes i substratet, något som anges bero på att förhållandet mellan kol och kväve förändrades. Xiong et al. (2023) menar efter att ha studerat olika typer av biokol, att ingen tydlig förbättring kunnat observeras vid ökad mängd tillsatt biokol och att en ökad mängd tillsatt biokol inte garanterar bättre resultat.

4.8.5. Är biokol ett fördelaktigt material att använda på gröna tak?

Det finns studier som visat att en ökad andel biokol kan innebära att de gröna taken kan bli tjockare, då biokol har låg densitet och därmed reducerar vikt i jämförelse med ett traditionellt substrat (Cao et al. 2014). Vid 40% tillsatt biokol uppger Cao et al. (2014) att substratets tjocklek kan öka med omkring 1,5 centimeter per kvadratmeter innan dess vikt motsvarar det hos ett traditionellt substrat. Cao et al. (2014) menar att detta visar på att biokol kan öka lagringskapaciteten för dagvatten, både genom att öka den vattenhållande förmågan, men också då ett ökat substratdjup innebär bättre möjligheter för magasinering.

Vi anser att det är lämpligt att den tillsatta mängden biokol i substratet motsvarar 5-15%, eftersom att majoriteten av empirin indikerar att detta är ett optimalt intervall. Eftersom att större mängder biokol, trots dess förmåga att öka den vattenhållande förmågan, kan påverka mikrolivet i jorden, bör enligt oss ett mer restriktivt förhållningssätt tillämpas, för att inte riskera att påverka substratet, eller organismerna i det, negativt.

4.8.6. Är biokol ett hållbart material och kan det användas för att skapa hållbara städer?

Biokol är en produkt som kan skapas av biomassa, eller som en direkt biprodukt vid produktion av bioenergi (Beck et al. 2011; Huang et al. 2020). Biokol är avsevärt mycket mer hållbart än andra jordförbättringsmaterial, såsom torv, eftersom det ofta tillverkas av restprodukter och liknande material, vilket innebär ett tillvaratagande av befintliga resurser. Biokol är dessutom en koldioxidnegativ produkt, vilket precis som tidigare nämnt innebär att biokol reducerar mängden CO₂, och alltså utsläpp av växthusgaser, istället för att öka den (Kuoppamäki et al. 2016; Gan et al. 2022). Biokol skapas under pyrolys, där biomassa långsamt uppvärms i syrefattig miljö (Gan et al. 2022). Pyrolys binder fast kolet till biomassan, också kallat kolsequestrering, vilket förhindrar frigöring av koldioxid till atmosfären (Beck et al. 2011). Därför anser vi att biokol har väldigt mycket positivt att erbjuda gällande hållbarhet.

Implementering av biokol i flera planteringar, framförallt gröna tak, har stor potential att reducera koldioxidutsläpp, vilket kan minska effekten av klimatförändringarna. I artikeln *Biochar increases plant growth and alters microbial communities via regulating the moisture and temperature of green roof substrates*, studeras den utsläppsreducerande förmågan hos biokol. Artikelförfattarna skriver:

[...] the carbon sequestration potential of green roofs with 10% biochar can reach 11.99 kg m⁻², which is equivalent to reducing 44 kg CO₂ emissions, and consuming 0.55 kg m⁻² of sewage sludge. (Chen et al. 2018:340)

Vi kan därigenom konstatera att det finns stor potential i att använda biokol som jordförbättringsmaterial i gröna tak, eftersom det både förbättrar substratets egenskaper, och även binder koldioxid.

Studier har visat att biokol effektivt kan neutralisera, och buffra sur nederbörd (Xiong et al. 2023). Sur nederbörd är ett stort miljöproblem, där urbana miljöer är särskilt benägna att drabbas som en konsekvens av hög energiförbrukning och utsläpp (ibid.). Genom detta klargörs att biokol kan öka den ekologiska hållbarheten, och även lindra effekterna av ett stort miljöproblem. Xiong et al. (2023) konstaterar även att biokol inte bara ökade avrinningsvattnets pH-värde, utan att biokol även medför en förkortning av den tid inom vilken avrinningsvattnets stabiliseras, och pH-värdet ökar.

Det har etablerats att gröna tak kan utgöra spridningsvägar, och så kallade "gröna korridorer" i städer, vilket är viktigt för att främja den biologiska diversiteten. I arbetet med ekologisk hållbarhet kan biokol användas för att utöka substratdjup, vilket möjliggör att fler arter kan planteras på gröna tak. Ett ökat utbud av varierade habitat är viktigt eftersom homogena habitat inte främjar biologisk mångfald och diversitet. Vår förhoppning är att denna typ av tillämpning kan bidra till att skapa välfungerande och välmående ekosystem.

Ur ett ekonomiskt perspektiv kan biokol genom att förbättra vattenhållande förmåga, öka växttillgängligt vatten och fördröja den permanenta vissningspunkten innebära att vegetationen vid händelse av torka, överlever och därmed inte behöver ersättas, vilket är ekonomiskt gynnsamt. Dessutom är ett reducerat ersättningsbehov även ekologiskt och miljömässigt hållbart, eftersom detta inte ger upphov till ytterligare utsläpp. Förbättrad vattentillgång kan även innebära ett reducerat behov av bevattning. Detta reducerar skötselbehovet, och medför en lägre skötsel- och underhållskostnad.

Ett ökat substratdjup innebär även att det gröna takets temperaturreglerande kapacitet ökar, vilket kan medföra ett reducerat behov av klimatanläggningar på fastigheter. Detta innebär i sin tur möjlighet till reducerad energiförbrukning och utsläpp, vilket dessutom kan medföra att effekten av urbana värmeöar (UHI) reduceras.

Biokol tillverkas, precis som tidigare nämnt, av restprodukter vilket är ekonomiskt fördelaktigt, eftersom denna typ av material oftast har ett mycket lågt inköpspris, och i förekommande fall, såsom för slam, är utan ytterligare kostnad för samhället. Vi anser dessutom att denna typ av material är miljömässigt fördelaktiga, eftersom att de inte ger upphov till ytterligare utsläpp.

Det har tidigare konstaterats att biokol reducerar näringsläckage från gröna tak, och därmed reducerar risken för näringsläckage i naturliga vattendrag, vilket kan medföra algblomning och övergödning. Dessutom är det också fastställt att gröna tak med biokol kan neutralisera surt regn, vilket kan innebära att risken för försurning i naturliga vattendrag minskar. Enbart kostnaden för att sanera och bekämpa övergödning har för England och Wales uppgetts motsvara 1,5 miljarder svenska kronor årligen. Utöver detta riskerar övergödning och försurning att innebära långsiktig påverkan, försämring och destruktions av ekosystem. Vi anser vidare att värdet av befintliga ekosystem inte är ekonomiskt mätbart, eftersom ekosystem är okänt svåra att återskapa, och fyller ett långt större syfte än att enbart vara ekonomiskt fördelaktiga. Det är alltså ekonomiskt fördelaktigt för samhället

att motverka dessa miljöproblem i ett så tidigt skede som möjligt för att undvika dessa enorma kostnader.

Eftersom att biokol visat sig vara effektivt för att öka vegetationens vitalitet på gröna tak kan detta innebära att de gröna taken med biokol är grönare än de utan. Då grönytor bevisats ha en positiv effekt på människors upplevda välmående, kan en ökning av vegetation på gröna tak medföra ökat välmående. Då gröna tak även inkluderar ytor såsom bostadsgårdar (med underliggande garage, förråd eller liknande), är denna typ av yta viktig ur ett socialt perspektiv. Om vegetationen på denna typ av ytor har en försämrad vitalitet kan detta medföra att ytan upplevs ovårdad, eller misskött, vilket kan ha en negativ inverkan på trivsel, gemenskap och välmående. En potentiell nackdel med biokol är att det kan vara dyrt, vilket därmed innebär att exempelvis mindre beställare, såsom små kommuner och liknande, kanske inte har råd med materialet.

4.9. Slutsats

Litteraturstudien visar att biokol kan reducera näringsläckage från gröna tak. Biokol kan i mycket stor utsträckning reducera kväveläckage, men till viss del även fosforläckage. Det finns olika faktorer som påverkar i vilken utsträckning biokol reducerar näringsläckage, såsom dess tillverkningsmaterial, storlek, vattenhållande förmåga, mängd tillsatt biokol och förekomst av vegetation. Detta innebär att vi bedömer möjligheterna att använda biokol på gröna tak i syfte att reducera näringsläckage som mycket lovande.

Genom analys av empirin kan vi konstatera att biokol är effektivt på att buffra, neutralisera, och höja pH. Biokol kan generellt anses vara basiskt, vilket är fördelaktigt exempelvis för att reducera effekten av sur nederbörd, eller lågt pH i avrinningsvatten från gröna tak. Även detta bidrar till reducerad negativ påverkan på ekosystem, då föroreningar reduceras.

Biokol förbättrar den vattenhållande förmågan i substrat, genom att öka dess porositet, vilket är en viktig aspekt för att undvika urlakning av näring, men också då det förlänger vegetationens permanenta vissningspunkt vilket också visats ha potential att förhindra näringsläckage. Vidare har litteraturstudien fastställt att vegetation är en viktig faktor för att reducera näringsläckage från gröna tak. Framförallt är vegetation i kombination med biokol särskilt effektivt, eftersom kombinationen innebär högst reduktion av näringsläckage i avrinningsvattnet. Litteraturstudien visar ytterligare att även vegetationstyp och vitalitet kan påverka näringsläckage.

Litteraturstudien visar att biokol är ekonomiskt-, ekologiskt-, och socialt hållbart. Vi anser att biokol är särskilt användbart då det bidrar till hållbarhet, vilket också är värdefullt i arbetet mot klimatförändringar och för att nå globala hållbarhets- och klimatmål såsom FN:s globala mål för hållbar utveckling, EU:s mål om klimatneutralitet 2050 och Parisavtalet. Dessutom är tillverkningen av biokol etisk, eftersom biokol tillverkas av restprodukter och inte påverkar miljön negativt. Ur ett långsiktigt hållbarhetsperspektiv är biokol fördelaktigt eftersom nedbrytningsprocessen är mycket långvarig vilket resulterar i en lång livslängd.

Förhoppningsvis bidrar och inspirerar litteraturstudien till vidare forskning inom området. Särskilt intressanta aspekter för vidare forskning är olika tillverkningsmaterial och dess påverkan på slutproduktens olika egenskaper, samt kombinationen av vegetation och biokol i syfte att reducera näringsläckage. Ytterligare en intressant aspekt för vidare och forskning är vilka eventuella möjligheter biokol kan innebära för den biologiska mångfalden genom dess potential att öka substratdjupet på gröna tak utan att öka dess vikt.

Vi hoppas att denna litteraturstudie kan bidra med värdefull information inför och vid anläggning av gröna tak med biokol, samt vid utformning av långsiktigt hållbara och klimatneutrala städer med hög biodiversitet.

Referenser

- Abass, F., Ismail, L.H., Wahab, I.A. & Elgadi, A.A. (2020). A Review of Green Roof: Definition, History, Evolution and Functions. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 713, 012048. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/713/1/012048>
- Abd-Alla, M.H., Al-Amri, S.M. & El-Enany, A-W.E. (2023). Enhancing Rhizobium–Legume Symbiosis and Reducing Nitrogen Fertilizer Use Are Potential Options for Mitigating Climate Change. *Agriculture*. 13(11), 2092. <https://doi.org/10.3390/agriculture13112092>
- Akbari, H. & Rose, L.S. (2008). Urban Surfaces and Heat Island Mitigation Potentials. *Journal of the Human-Environment System*, 11 (2), 85–101. <https://doi.org/10.1618/jhes.11.85>
- Akpinar, D., Chowdhury, S., Tian, J., Guo, M., Barton, S. & Imhoff, P.T. (2023). Understanding a wood-derived biochar's impact on stormwater quality, plant growth, and survivability in bioretention soil mixtures. *Journal of Environmental Management*. 348, 119359. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119359>
- Andersson, A., Frostgård, G., Hjelm, E., Kvarmo, P., Stenberg, M. & Malgeryd, J. (2023). Rekommendationer för gödsling och kalkning 2024. 17. (Jordbruksinformation 2023:17). Jordbruksverket. https://www2.jordbruksverket.se/download/18.23e68dd418d7c649d1721e97/1707728297575/jo23_17v3.pdf
- Austin, G.S. (1994). Pumice mining and environmental concerns in New Mexico. *New Mexico Geology, Science and Service*. 16 (1), 1-6. https://geoinfo.nmt.edu/publications/periodicals/nmg/16/n1/nmg_v16_n1_p1.pdf
- Bakke, A.L. (1918). Determination of Wilting. *Botanical Gazette*. 66(2), 81-116. <https://doi.org/10.1086/332318>
- Baycan, T. & Nijkamp, P. (2007). Critical success factors in planning and management of urban green spaces in Europe. *International Journal of Sustainable Society*. 4(3), 0010. <http://dx.doi.org/10.1504/IJSSOC.2012.047278>
- Beck, D.A., Johnson, G.R. & Spolek, G.A. (2011). Amending greenroof soil with biochar to affect runoff water quantity and quality. *Environmental Pollution*. 169 (8-9), 2111-2118. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.022>
- Beck, H.E., McVicar, T.R., Vergopolan, N., Berg, A., Lutsko, N.J., Dufour, A., Zeng, Z., Jiang, X., van Dijk, A.I.J.M. & Miralles, D.J. (2023). High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901–2099 based on constrained CMIP6 projections. *Scientific Data*. 10, 724. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02549-6>

- Berndtsson, J. C., (2010) Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological engineering*. 36, 351-360.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>
- Boverket (2016). Rätt tätt – en idéskrift om förtätning av städer och orter.
<https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2016/ratt-tatt-en-ideskraft-om-fortatning-av-stader-orter.pdf> [2024-02-12]
- Boverket (2019). Vad kan man göra för att bevara, utveckla eller skapa ekosystemtjänster på hårdgjorda ytor? https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/platser/hardgjorda/starka_hardgjort/ [2024-02-06]
- Boverket (2021). Hårdgjorda ytor. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/platser/hardgjorda/> [2024-02-12]
- Boverket (2023). Risker med gröna tak. <https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/risker/risker-fuktskador/fuktrisker-yttertak/takets-ytskikt/risker-med-grona-tak/> [2024-02-23]
- Cao, C.T.N., Farrell, C., Kristiansen, P.E. & Rayner, J.P. (2014). Biochar makes green roof substrates lighter and improves water supply to plants. *Ecological Engineering*. 71, 368-374. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.06.017>
- Chen, H., Du, X., Lai, M., Nazhafati, M., Li, C. & Qi, W. (2021). Biochar Improves Sustainability of Green Roofs via Regulate of Soil Microbial Communities. *Agriculture*. 11, 620. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070620>
- Chen, H., Ma, J., Wei, J., Gong, X., Yu, X., Guo, H. & Zhao, Y. (2018). Biochar increases plant growth and alters microbial communities via regulating the moisture and temperature of green roof substrates. *Science of The Total Environment*. 635, 333-342. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.127>
- da Cunha, E.G., Correa, C.M.B., Ritter, V., Hohn, D., Nogueira Peil, R.M., Maieves, H.A., Krebs, L.F & Silva, M.E. (2019). Growing Food on Green Roofs: The First Step of an Interdisciplinary Approach. *Journal of Civil Engineering and Architecture*. 13, 694-703. <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2019.11.004>
- Dwivedi, A. & Buddhiraju, K.M. (2018). Impact of green roof on micro climate to reduce Urban Heat Island. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 10, 56-69. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.01.003>
- Elsevier (u.å.). Guide for authors -Your Paper Your Way.
<https://www.elsevier.com/subject/next/guide-for-authors> [2024-03-06]
- European Commission (u.å.). The European Green Deal - Striving to be the first climate-neutral continent. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en [2024-01-17]
- Farreny, R., Morales-Pinzón, T., Guisasola, A., Tayà, C., Rieradevall, J. & Gabarrell, X. (2011). Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water Research*. 45(10), 3245-3254.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.03.036>
- Folkhälsomyndigheten (2018). Värmestress i urbana utomhusmiljöer: Förekomst och åtgärder i befintlig bebyggelse. (18061). Folkhälsomyndigheten.

- <https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/e5286456e91c442a923c6884d84f79be/varmestress-urbana-utomhusmiljoer-18061-webb-181112.pdf>
- Franche, C., Lindström, K. & Elmerich, C. (2009). Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. *Plant and Soil*. 321, 35–59.
<https://doi.org/10.1007/s11104-008-9833-8>
- Gan, L., Garg, A., Huang, S., Wang, J., Mei, G. & Zhang, K. (2022). Experimental and numerical investigation on rainwater management of dual substrate layer green roofs using biochar-amended soil. *Biomass Conversion and Biorefinery*.
<https://doi.org/10.1007/s13399-022-02754-0>
- Goldchmidt, A. & Buffam, I. (2023). Biochar-amended substrate improves nutrient retention in green roof plots. *Nature-Based Solutions*. 3, 100066.
<https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2023.100066>
- Guo, H., Zhang, Q., Chen, Y. & Lu, H. (2023). Effects of biochar on plant growth and hydro-chemical properties of recycled concrete aggregate. *Science of The Total Environment*. 882, 163557. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163557>
- Havs och Vattenmyndigheten (2023). Övergödning.
<https://www.havochvatten.se/miljopaverkan-och-atgarder/miljopaverkan/overgodning-och-algblomning/overgodning.html> [2024-02-14]
- Huang, S., Huang, D., Garg, A., Jiang, M., Mei, G. & Pekkat, S. (2024). Stormwater management of biochar-amended green roofs: peak flow and hydraulic parameters using combined experimental and numerical investigation. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 14, 5835–5846. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01109-x>
- Hunt, J., DuPont, M., Sato, D. & Kawabata, A. (2010). The Basics of Biochar: A Natural Soil Amendment. *Soil and Crop Management*. SCM-30, 1.
<https://www.ets.org/pdfs/careers/summer-institute-toefl-ibt-writing-source-material-b.pdf>
- Jim, C.Y. (2017). An archaeological and historical exploration of the origins of green roofs. *Urban Forestry & Urban Greening*. 27, 32-42.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.06.014>
- Joshi, M.W., Selmi, W., Binard, M., Nys, G.A. & Teller, J. (2020). Potential for urban greening with green roofs: A way towards smart cities. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. VI-4/W2-2020, 87–94. 194/isprs-annals-VI-4-W2-2020-87-2020
- Kaye, J.P., Groffman, P.M., Grimm, N.B., Baker, L.A. & Pouyat, R.V. (2006). A distinct urban biogeochemistry? *Trends in Ecology & Evolution*. 21 (4), 192–199.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.12.006>
- Kitchenham, B. & Charters, S.M. (2007) Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. EBSE Technical Report. 2.3 , EBSE-2007-01.
https://www.researchgate.net/publication/302924724_Guidelines_for_performing_Systematic_Literature_Reviews_in_Software_Engineering

- Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Bolan, N.S., Xu, Y., Mandal, S., Gleeson, D.B., Seshadri, B., Zaman, B., Barton, L., Tang, C., Luo, J., Dalal, R., Ding, W., Kirkham, M.B. & Naidu, R. (2016). Functional Relationships of Soil Acidification, Liming, and Greenhouse Gas Flux. *Advances in Agronomy* Volume 139. 1-71. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.05.001>
- Kuoppamäki, K., Hagner, M., Lehvavirta, S. & Setälä, H. (2016). Biochar amendment in the green roof substrate affects runoff quality and quantity. *Ecological Engineering*. 88, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.12.010>
- Kuoppamäki, K. & Lehvavirta, S. (2016). Mitigating nutrient leaching from green roofs with biochar. *Landscape and Urban Planning*. 152, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.04.006>
- Kuoppamäki, K., Prass, M. & Hagner, M. (2023). Crushed concrete and biochar: A sustainable solution for vegetated roofs. *Urban Forestry & Urban Greening*. 88, 128082. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128082>
- Kuoppamäki, K., Setälä, H. & Hagner, M. (2021). Nutrient dynamics and development of soil fauna in vegetated roofs with the focus on biochar amendment. *Nature-Based Solutions*. 1, 100001. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2021.100001>
- Köhler, M. (2004). Ecological Green Roofs in Germany. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*. 7(4), 8-16. <https://koreascience.kr/article/JAKO200435037101443.pdf>
- Lata, J-C., Dusza, Y., Abbadie, L., Barot, S., Carmignac, D., Gendreau, E., Kraepiel, Y., Mériguet, J., Motard, E. & Raynaud, X. (2018). Role of substrate properties in the provision of multifunctional green roof ecosystem services. *Applied Soil Ecology*. 128, 464-468. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.09.012>
- Leng, L. & Huang, H. (2018). An overview of the effect of pyrolysis process parameters on biochar stability. *Bioresource Technology*. 270, 627-642. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.030>
- Liao, W., Drake, J. & Thomas, S.C. (2022a). Biochar granulation enhances plant performance on a green roof substrate. *Science of The Total Environment*. 813, 152638. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152638>
- Liao, W., Drake, J. & Thomas, S.C. (2022b). Biochar granulation, particle size, and vegetation effects on leachate water quality from a green roof substrate. *Journal of Environmental Management*. 318, 115506. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115506>
- Liao, W., Drake, J. & Thomas, S.C. (2023). Biochar granulation and vegetation improve leachate water quality from a green roof substrate. *Novatech 2023*. 1, hal-04166531. <https://hal.science/hal-04166531/>
- Lindsey, R. (2013). Top 10 Global Climate & Weather Events of 2011. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/top-10-global-climate-weather-events-2011> [2024-03-04]
- Magill, J.D. (2011). A History and Definition of Green Roof Technology with Recommendations for Future Research. Southern Illinois University Carbondale. https://opensiuc.lib.siu.edu/gs_rp/91/

- Magnusson, M. (2003). Mikronäringsämnen och pH. Ekologisk odling av grönsaker på friland. 7–15.
https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_ovrigt/p7_18.pdf
- Maltseva, I.N., Shvalev, D.M. & Tkachuk, K.A. (2021). Problems and Solutions for Green Roofs. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1066, 012012. 10.1088/1757-899X/1066/1/012012
- Mayne, A. (2023). The Oxford Handbook of the Modern Slum. Oxford University Press. 10.1093/oxfordhb/9780190879457.001.0001
- Meng, R., Zhang, Q., Li, D. & Wang, H. (2021). Influence of Substrate Layer Thickness and Biochar on the Green Roof Capacity to Intercept Rainfall and Reduce Pollution in Runoff. Polish Journal of Environmental Studies. 30 (5), 4085-4103.
<https://doi.org/10.15244/pjoes/132810>
- Mengist, W., Soromessa, T. & Legese, G. (2020). Method for conducting systematic literature review and meta-analysis for environmental science research. MethodsX. 7, 100777. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.100777>
- Messiga, J.A., Dyck, K., Ronda, K., van Baar, K., Haak, D., Yu, S. & Dorais, M. (2020) Nutrients Leaching in Response to Long-Term Fertigation and Broadcast Nitrogen in Blueberry Production. Plants. 9(11), 1530.
<https://doi.org/10.3390%2Fplants9111530>
- Michaud, M. & Gan, H. (2022). Commercial Wood-Based Biochar Reduces Nutrient Leaching from Inorganic Fertilizers in a Sandy Loam Soil.
https://scisoc.confex.com/scisoc/2022am/mediafile/Handout/Paper141660/ASA%20Poster%20Presentation%202022_v7.pdf
- Minnesota Department of Natural Resources (u.å.). HYDROLOGY Impervious Surfaces.
<https://www.dnr.state.mn.us/whaf/about/scores/hydrology/impervious.html>
 [2024-02-06]
- National Centers for Environmental Information (2012). Annual 2011 National Climate Report. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/national/201113> [2024-03-04]
- Nationalencyklopedin. (u.å. a). Bottenskikt.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/bottenskikt> [2024-02-23]
- Nationalencyklopedin (u.å. b). Buskskikt.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/buskskikt> [2024-02-23]
- Nationalencyklopedin (u.å. c). Fältskikt.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/fältskikt> [2024-02-23]
- Nationalencyklopedin (u.å. d). Källkritik
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/enkel/k%C3%A4llkritik> [2024-02-12]
- Nationalencyklopedin (u.å. e). Köppens klimatklassificering.
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/k%C3%B6ppens-klimatklassificering> [2024-02-27]
- Nationalencyklopedin (u.å. f) Trädsikt.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/trädsikt> [2024-02-23]

- Nationellt kunskapscentrum för klimatanpassning, SMHI (2023). Dagvatten och spillvatten. <https://www.klimatanpassning.se/hur-samhallet-paverkas/vatten-och-avlopp/dagvatten-och-spillvatten-1.107468> [2024-02-22]
- Naturvårdsverket (u.å.). Den biologiska mångfalden utarmas – globalt och i Sverige. <https://www.naturvardsverket.se/om-miljoarbetet/sveriges-miljomal/fordjupad-utvardering-av-sveriges-miljomal-2023/den-biologiska-mangfalden-utarmas--globalt-och-i-sverige/> [2024-01-17]
- Nepal Law Commission 2011 Climate Change Policy, 2067. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/nep143050.pdf>
- Ngatia, L., Grace III, J.M., Moriasi, D. & Taylor, R. (2019). Nitrogen and Phosphorus Eutrophication in Marine Ecosystems. I: Fouzia, B.H. (red.). Monitoring of Marine Pollution. IntechOpen. 77-95. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76739>
- Nilsson, S., Katarina, L., Dalunde, J. & Larsson, E. (2012). 20 procent av Stockholms stads elkonsument ska täckas av el från solceller till år 2020, Motion (2012:56) <https://insynsverige.se/documentHandler.ashx?did=1774605>
- Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow. C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J.M., Akl, E.A., Brennan, S.E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J.M., Hróbjartsson, A., Lalu, M.M., Li, T., Loder, E.W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L., Stewart, L.A., Thomas, J., Trocchi, A.C., Welch, V.A., Whiting, P. & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery*. 88, 105906. <https://doi.org/10.1016/j.ijso.2021.105906>
- Park S-Y., Oh, D-K., Lee, S-Y., Yeum, K-J., Yoon, Y-H. & Ju, J-H. (2022). Combined Effects of Substrate Depth and Vegetation of Green Roofs on Runoff and Phytoremediation under Heavy Rain. *Water*. 14 (18), 2792. <https://doi.org/10.3390/w14182792>
- Parliamentary Commissioner for the Environment (2023). Are we building harder, hotter cities? The vital importance of urban green spaces. (978-0-947517-37-3). Parliamentary Commissioner for the Environment. <https://pce.parliament.nz/media/tetah53z/report-are-we-building-harder-hotter-cities-the-vital-importance-of-urban-green-spaces.pdf>
- Paul, J. & Criado, A.R. (2020) The art of writing literature review: What do we know and what do we need to know? *International Business Review*. 29(4), 101717. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2020.101717>
- Petreje, M., Sněhota, M., Chorazy, T., Novotný, M., Rybová, B., & Hečková, P. (2023). Performance study of an innovative concept of hybrid constructed wetland-extensive green roof with growing media amended with recycled materials. *Journal of Environmental Management*. 331, 117151. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117151>
- Qianqian, Z., Liping, M., Huiwei, W. & Wang, L (2019). Analysis of the effect of green roof substrate amended with biochar on water quality and quantity of rainfall runoff. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 304. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7466-4>

- Qiu, D., Peng, H. Li, T. & Qi, Y. (2020). Application of stabilized sludge to extensive green roofs in Shanghai: Feasibility and nitrogen leaching control. *Science of The Total Environment*. 732, 138898.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138898>
- Ramesh,T., Bolan, N.S., Kirkham, M.K., Wijesekara, H., Kanchikerimath, M., Rao, C.S., Sandeep, S., Rinklebe, J., Ok, Y.S., Choudhury, B.U., Wang, H., Tang, C., Wang, X., Song, Z., & Freeman II, O.W. (2019). Soil organic carbon dynamics: Impact of land use changes and management practices: A review. I: Sparks, D.L. (red.) *Advances in Agronomy*, volume 156. Academic Press. 1-107.
<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.02.001>
- Rashmi, I., Shirale, A., Kartikha, K.S., Shinogi, K.C., Meena, B.P. & Kala, S. (2017). Leaching of Plant Nutrients from Agricultural Lands. I: Naeem, M., Ansari, A. & Gill, S. (red.). *Essential Plant Nutrients*. Springer, Cham. 465–489.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-58841-4_19
- Rau, S. (2022). *Sponge Cities: Integrating Green and Gray Infrastructure to Build Climate Change Resilience in the People’s Republic of China*. ADB BRIEFS. 222. <http://dx.doi.org/10.22617/BRF220416-2>
- Ruiz, A. (2023). *52 Huge Environmentally Conscious Consumer Statistics*.
<https://theroundup.org/environmentally-conscious-consumer-statistics/> [2024-03-04]
- Smyth, A., Laughinghouse IV, H.D., Havens, K. & Frazer, T. (2022). Rethinking the Role of Nitrogen and Phosphorus in the Eutrophication of Aquatic Ecosystems. Department of Soil and Water Sciences, UF/IFAS Extension. SGEF190.
<https://doi.org/10.32473/edis-sg118-2022>
- Statistiska centralbyrån (2019). *Grönytor och grönområden i tätorter 2015*. 1. (Övrig publicering under ämnesområde Miljö 2019:1) Statistiska centralbyrån.
https://www.scb.se/contentassets/e2ef67822f8043549f1554b4f7759bb7/mi0805_2015a01_br_miftbr1901.pdf
- Sullivan, T.S. & Gadd, G.M. (2019). Metal bioavailability and the soil microbiome. *Advances in Agronomy* Volume 155. 79-120.
<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.01.004>
- Sveriges lantbruksuniversitet (2024). *Söktips*. <https://www.slu.se/site/bibliotek/soka-och-lana/soka/soktips/> [2024-02-12]
- Sveriges vattenmiljö (2021). *Åtgärder: Övergödning*. Havsmiljöinstitutet.
<https://www.sverigesvattenmiljo.se/sa-mar-vara-vatten/2021/sammanfattningar/0/0/4#atgard> [2024-01-17]
- Teixidó, N., Gambi, M.C., Parravacini, V. Kroeker, K., Micheli, F., Villéger, S. & Ballesteros, E. (2018). Functional biodiversity loss along natural CO2 gradients. *Nature Communications*. 9, 5149. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07592-1>
- The Observatory of Economic Complexity (2022). *Wood products*. The Observatory of Economic Complexity. <https://oec.world/en/profile/hs/wood-products> [2024-03-06]
- The world bank (2023). *Urban development: Overview*.
<https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview> [2024-02-12]

- Umeå universitet (2022). In-depth search strategies.
<https://www.umu.se/en/library/search-write-study/information-searching-and-evaluation-of-sources/in-depth-search-strategies/> [2024-02-27]
- United Nations (u.å. a). 17 Goals to Transform Our World.
<https://www.un.org/en/climatechange/17-goals-to-transform-our-world> [2024-01-17]
- United Nations (u.å. b). The Paris agreement. <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement> [2024-01-17]
- United States Environmental Protection Agency (2023). Heat Island Impacts. [Overviews and Factsheets]. <https://www.epa.gov/heatislands/heat-island-impacts> [2024-01-21]
- van den Bosch, M. & Nieuwenhuijsen, M. (2017). No time to lose – Green the cities now. *Environment International*. 99, 343-350.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.11.025>
- Viklander, M., Österlund, H., Müller, A., Marsalek, J. & Borris, M. (2019). Kunskapsmanställning - Dagvattenkvalitet. (2019-2). Svenskt Vatten AB.
<https://www.svensktvatten.se/contentassets/f3d99ca8ce964851b9702d3dc85e4269/trvu-rrap-2019-02.pdf>
- Walters, S.A. & Stoelzle, K.M. (2018). Sustainability of Urban Agriculture: Vegetable Production on Green Roofs. *Agriculture*. 8 (11), 168.
<https://doi.org/10.3390/agriculture8110168>
- Wang, J. & Wang, S. (2019). Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. *Journal of Cleaner Production*. 227, 1002-1022.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.282>
- White P.J. & Brown P.H. (2010). Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany*. 105(7), 1073-1080.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcq085>
- Wooster, E.I.F., Fleck, R., Torpy, F., Ramp, D., & Irga, P.J. (2022). Urban green roofs promote metropolitan biodiversity: A comparative case study. *Building and Environment*. 207(Part A), 108458.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108458>
- World Meteorological Organization (2023). The Global Climate 2011-2020: A decade of accelerating climate change. (1338). United Nations.
<https://reliefweb.int/report/world/global-climate-2011-2020-decade-accelerating-climate-change-enarzh>
- Xiong, W., Wang, H., Juan L., Wu, Y., Li, D. & Xue, J. (2023). Biochar Addition on the Runoff Quality of Newly Constructed Green Roofs: A field study. *Sustainability* 2023, 15(5), 4081. <https://doi.org/10.3390/su15054081>
- Xu, C., Liu, Z., Cai, G. & Zhan, J. (2022). Nutrient leaching in extensive green roof substrate layers with different configurations. *Environmental Science and Pollution Research*. 29, 34278–34287. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17969-3>

- Yang, X.E., Wu, X., Hao, H.L. & He, Z.L. (2008). Mechanisms and assessment of water eutrophication. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*. 9(3), 197–209. <https://doi.org/10.1631%2Fjzus.B0710626>
- Zhang, M., Riaz, M., Zhang, L., El-desouki, Z. & Jiang, C. (2019). Biochar Induces Changes to Basic Soil Properties and Bacterial Communities of Different Soils to Varying Degrees at 25 mm Rainfall: More Effective on Acidic Soils. *Frontiers of Microbiology*. 10, 1321. [10.3389/fmicb.2019.01321](https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01321)
- Zhang, X., Shen, L., Tam, V.W.Y. & Lee, W.WY (2012). Barriers to implement extensive green roof systems: A Hong Kong study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16(1), 314-319. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.157>

Figurer

Figur 1: thingermejig (2006). Construction sample of a green roof system. [Fotografi].
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5236509> (CC BY-SA 2.0).
[2024-02-24]

Figur 2-5: Salih, N. & Wågemark, A. (2024). [Illustration]. Eget material. Används med
upphovspersonernas tillstånd. [2024-03-06]

Figur 6: Mapchart.net, med ändringar av Wågemark, A. & Salih, N. (2024). [Karta].
<https://www.mapchart.net/> (CC BY-SA 4.0). [2024-02-28]

Figur 7-8: Salih, N. & Wågemark, A. (2024). [Illustration]. Eget material. Används med
upphovspersonernas tillstånd. [2024-03-06]

Tabeller

Tabell 1: Salih, N. & Wågemark, A. (2024). [Tabell]. Baserad på data från Nationalencyklopedin (Nationalencyklopedin u.å. a; Nationalencyklopedin u.å. b; Nationalencyklopedin u.å. c; Nationalencyklopedin u.å. f). [2024-03-06]

Tabell 2-3: Salih, N. & Wågemark, A. (2024). [Tabell]. Eget material. Används med upphovspersonens tillstånd. [2024-03-06]

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 och sökbara.