



Hur förändras ekosystemtjänster på åldrande sedumtak?

En studie på extensiva gröna tak i Skåne

Maarit Illikainen & Sofia Rosenqvist

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Landskapsingenjörsprogrammet - Uppsala
Uppsala 2025



Hur förändras ekosystemtjänster på åldrande sedumtak?

En studie på extensiva gröna tak i Skåne.

*How do ecosystem services change on aging sedum roofs?
A study on extensive green roofs in Scania.*

Maarit Illikainen & Sofia Rosenqvist

Handledare: Göran Thor, SLU Uppsala, institutionen för ekologi
Bitr. handledare: Ishi Buffam, SLU Alnarp, institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning
Examinator: Daniel Valentini, SLU Uppsala, institutionen för stad och land
Bitr. examiner: Vera Vicenzotti, SLU Uppsala, 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.: Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2025
Omslagsbild: Sedumtak på MVM och BioCentrum, Uppsala (Julio Gonzalez, SLU, Intern mediabank)
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Sedumtak, gröna tak, extensiva vegetationssystem, ålder, solexponering, ekosystemtjänster

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för stad och land
Avdelningen för landskapsarkitektur

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket. Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU:s publiceringsavtal och SLU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter på den här sidan:

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

- ☒ JA, jag, Sofia Rosenqvist har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta
- ☒ JA, jag, Maarit Illikainen har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta
- ☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse till att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

Sammanfattning

Grön infrastruktur förser urbana miljöer med ekosystemtjänster som motverkar negativa effekter av klimatförändringar och skapar en hälsosam livsmiljö i staden. För att maximera ekosystemtjänster i tät bebyggelse anläggs ofta gröna tak, varav sedumtak är det mest frekvent använda. Det saknas dock studier i hur funktionella gröna tak är över längre tid.

Detta arbete genomfördes som en del av ett forskningsprojekt vid SLU Alnarp (2020–2023) som studerar hur gröna tak och dess ekosystemtjänster förändras över tid. Arbetet har fokuserat på 19 sedumtak mellan 2–26 år gamla belägna i Skåne, Sverige. Syftet är att utforska hur leveransen av stödjande och reglerande ekosystemtjänster skiljer sig mellan tak i olika åldrar och vilken påverkan solexponering har. Studien har utförts med hjälp av statistiska analyser på ett urval av indikatorer för ekosystemtjänster. Dessa har ställts i relation till takålder i en linjär regressionsanalys. De tak som visade ett linjärt samband analyserades sedan i en multipel linjär regressionsanalys med solexponering som ytterligare variabel.

Resultatet visar att det finns indikatorer som förändras linjärt med takålder eller solexponering: artrikedom av kärlväxter och vegetationstäckning av kärlväxter. Det finns indikatorer som visar ett samband med takålder, dock inte ett linjärt: biomassa och vegetationstäckning av mossor och organiskt material. Det finns även indikatorer som inte förändras linjärt med varken ålder och solexponering: biomassa av kärlväxter, vattenhållande kapacitet och näringsläckage.

Slutsatsen är att vissa indikatorer för ekosystemtjänster på sedumtak förändras med tid och solexponering, och vissa gör det inte. Det finns också en variation i hur väl datan passar den linjära modellen. Resultatet indikerar en påverkan på ekosystemtjänsterna biologisk mångfald, pollinering, erosionsskydd och reglering av lokalklimat. En slutsats som också dras är att den linjära regressionsmodellen inte alltid passade datan, och vidare studier skulle kunna använda sig av andra modeller. Ett ytterligare förslag på vidare studier är att studera ett större antal gröna tak med större variation av unga och äldre sedumtak samt tak med låg solexponering.

Nyckelord: sedumtak, gröna tak, ålder, solexponering, ekosystemtjänster, extensiva vegetationssystem

Abstract

Green infrastructure provides urban environments with ecosystem services that mitigate negative effects caused by climate change and create prosperous living environments in the city. Green roofs are often used in order to maximize ecosystem services in densely built areas, with sedum roofs being the most frequently used. However, there is a need for more research on the changes in green roof functionality over time.

This work was conducted as part of a research project at SLU Alnarp (2020–2023) that studies green roofs and the changes in ecosystem services over time. The focus has been on 19 sedum roofs ages 2–26 years located in Skåne, Sweden. The goal is to discover how the delivery of supporting and regulating ecosystem services differ between roofs of different ages and the effect of sun exposure. The study was performed with the help of statistical analyses on a selection of indicators for ecosystem services. These were put in relation to roof age and the results were analysed. The roofs showing a linear relationship were then tested using a multiple linear regression model adding sun exposure as the third variable.

The results show that there are indicators that change linearly with age or sun exposure: vascular richness and vascular cover. There are indicators showing a change with age though not a linear one: moss biomass, moss cover and organic material. There are also indicators that do not change linearly with age and sun exposure: vascular biomass, water holding capacity and nutrient runoff.

Our conclusion is that some indicators for ecosystem services on sedum roofs change with time and sun exposure, and some do not. There is also a variation in how well the data fits the linear model. The results indicate an impact on the ecosystem services biodiversity, pollination, erosion prevention and local climate regulation. An additional conclusion is that the linear regression model did not always fit the data, which motivates further studies where other models are used for statistical analysis. Another suggestion for further research is studying a greater number of young and old roofs as well as roofs with low sun exposure.

Keywords: sedum roofs, green roofs, sun exposure, ecosystem services, extensive green roof systems

Förord

Detta är ett kandidatarbete inom landskapsingenjörsprogrammet vid SLU Ultuna, Uppsala, författad av Maarit Illikainen och Sofia Rosenqvist. Valet av att studera gröna tak och hur dessa utvecklas över tid kommer från att vi båda har ett intresse för hållbarhet och hur grönblå lösningar kan användas som ett verktyg vid klimatanpassning. Gröna tak är en sådan innovativ lösning som kan främja ett mer hållbart stadsklimat genom att exempelvis leverera ekosystemtjänster. När en möjlighet uppstod att samarbeta med ett forskningsprojekt vid SLU Alnarp som studerar just gröna tak och hur dessa förändras över tid, så var det en självklarhet för oss att ta chansen.

Arbetsmoment har utförts både i grupp och individuellt med målsättningen att fördela arbetsuppgifterna så jämnt som möjligt. Alla moment har planerats tillsammans och innehåll har regelbundet diskuterats under arbetets gång för att hålla en gemensam röd tråd. Sofia Rosenqvist har ansvarat för kapitel 2, samt sammanfattning och abstract. Maarit Illikainen har i sin tur ansvarat för kapitel 3-4. Framställning av kapitel 1, 5 och 6 har huvudsakligen skett i samarbete, men vissa uppgifter har delats upp enskilt för att effektivisera arbetet. Sofia har varit mer involverad i att ta fram relevant information från tidigare vetenskapliga studier om gröna tak, medan Maarit har haft som fokus att genomföra den statistiska modelleringen samt framställning av tabeller och diagram.

Vi vill tacka vår handledare Göran Thor och den handledningsgrupp som vi har varit en del av under arbetets gång. Av er har vi fått stor hjälp att hålla arbetet avgränsat, vilket annars kan vara en utmanande uppgift. Vi vill även ge ett speciellt tack till Ishi Buffam och Magdalena Krasteva som har avsatt tid för att ge oss extern handledning, samt gjort det möjligt för oss att ta del av deras forskningsprojekt. Slutligen vill vi även tacka våra respektive familjer och vänner för allt stöd och tålamod som ni har gett genom arbetsprocessen.

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	8
Figurförteckning	9
Förkortningar	10
Begreppsförklaring	10
1. Inledning	11
1.1 Syfte och frågeställning	12
1.2 Avgränsning	12
1.2.1 Ämnesområde inom landskapsarkitektur	12
1.2.2 Val av ekosystemtjänster	12
1.2.3 Samarbete med forskningsprojekt: urval av innehåll och metod	13
2. Bakgrund	14
2.1 Sedumtak	14
2.1.1 Konstruktion	15
2.1.2 Mossa	15
2.2 Ekosystemtjänster	16
2.2.1 Reglerande och stödjande ekosystemtjänster	16
2.3 Förklarande variabler	17
2.3.1 Takålder	18
2.3.2 Solexponering	18
2.3.3 Exempel på förklarande variabler som inte beaktas i studien	19
2.4 Responsvariabler: Indikatorer för ekosystemtjänster	19
2.4.1 Artrikedom bland kärlväxter	20
2.4.2 Vegetationstäckning	21
2.4.3 Biomassa	21
2.4.4 Organiskt material	22
2.4.5 Vattenhållande kapacitet	22
2.4.6 Näringsläckage	23
3. Material och metod	24
3.1 Metod	24
3.2 Studerade sedumtak	24
3.3 Statistisk analys	26
3.3.1 Varför linjär regression?	27
3.3.2 Viktiga kriterier vid analys av linjär regression	27
4. Resultat	29
4.1 Modellstatistik	29
4.2 Artrikedom	31
4.2.1 Ålder	31
4.2.2 Solexponering och ålder	31
4.3 Vegetationstäckning	32
4.3.1 Ålder	32
4.3.2 Solexponering och ålder	34
4.4 Biomassa	35
4.4.1 Ålder	35
4.4.2 Solexponering och ålder	37

4.5 Organiskt material	38
4.5.1 Ålder	38
4.6 Vattenhållande kapacitet	39
4.6.1 Ålder	39
4.7 Näringsläckage	40
4.7.1 Ålder	40
5. Diskussion	42
5.1 Indikatorer med ett linjärt samband till antingen takålder eller solexponering	42
5.1.1 Artrikedom av kärlväxter	42
5.1.2 Vegetationstäckning av kärlväxter	43
5.2 Indikatorer med ett icke-linjärt samband till takålder	44
5.2.1 Mossans biomassa och vegetationstäckning på sedumtak	44
5.2.2 Organiskt material	45
5.3 Indikatorer utan samband till takålder och solexponering	46
5.3.1 Biomassa av kärlväxter	46
5.3.2 Vattenhållande kapacitet och näringsläckage	46
5.4 Metoddiskussion	47
5.4.1 Den linjära regressionsmodellen	47
5.4.2 Data - styrkor och svagheter	47
5.5 Hållbarhetsperspektiv och etiska dilemman	48
6. Slutsats	50
6.1 Förslag på vidare studier	51
Referenser	52

Tabellförteckning

Tabell 1. Indikatorer som påverkar reglerande och stödjande ekosystemtjänster	20
Tabell 2. Sammanställning av egenskaper och förutsättningar.	26
Tabell 3. Sammanfattning av modellstatistik vid enkel linjär regressionsanalys.	30
Tabell 4. Sammanfattning av modellstatistik vid multipel linjär regressionsanalys.	30

Figurförteckning

Figur 1. Exempel på sedum-mosstak med färgskiftningar. Zellmer, R. (2020) Green roof aging project [fotografi] [2025-02-24]	15
Figur 2. Studerade sedumtak, M9 och M17, med substratdjup och taklutning. Zellmer, R. (2020) Green roof aging project [fotografi] [2025-02-24]	24
Figur 3. Vegetationstäckning [Diagram]	25
Figur 4. Takålder och artrikedom kärlväxter [Diagram]	31
Figur 5. Solexponering och artrikedom kärlväxter [Diagram]	32
Figur 6. Takålder och vegetationstäckning kärlväxter [Diagram]	33
Figur 7. Takålder och vegetationstäckning mossor [Diagram]	33
Figur 8. Solexponering och vegetationstäckning kärlväxter [Diagram]	34
Figur 9. Solexponering och vegetationstäckning mossor [Diagram]	35
Figur 10. Takålder och biomassa kärlväxter [Diagram]	36
Figur 11. Takålder och biomassa mossor [Diagram]	36
Figur 12. Solexponering och biomassa kärlväxter [Diagram]	37
Figur 13. Solexponering och biomassa mossor [Diagram]	38
Figur 14. Takålder och organiskt material [Diagram]	39
Figur 15. Takålder och vattenhållande kapacitet [Diagram]	40
Figur 16. Takålder och fosforläckage [Diagram]	41
Figur 17. Takålder och kväveläckage [Diagram]	41

Förkortningar

<u>Förkortning</u>	<u>Betydelse</u>
SLU	Sveriges lantbruksuniversitet
SMR	Sedumtak
KV	Kärlväxter (<i>används i figur</i>)
M	Mossa (<i>används i figur</i>)

Begreppsförklaring

Grön infrastruktur

Grönblå ytor som skapar ett sammanhängande ekologiskt nätverk i anslutning till urbana områden. Det omfattar parker, trädgårdar, jordbruksmark, häckar, träd, skogsträdgårdar, gröna tak och väggar, vattendrag och dammar. Begreppet myntades i USA med syfte att bevara, men har utvecklats till att få en holistisk agenda i Europa. Målet med GI är att reducera risker som kommer med klimatförändringar, exempelvis översvämningar och värmeböljor. Fenomenet är också en producent av ekosystemtjänster (Dixon & Wilkinson 2016).

Kronosekvens

En uppsättning platser som innehar liknande levnadsförhållanden eller ekologiska egenskaper men som skiljs åt åldersmässigt. Kronosekvens används för att studera ekologisk succession (Walker, Wardle, Bardgett, Clarkson 2010).

1. Inledning

Klimatförändringar skapar förändringar i landskapet världen över och kan ge upphov till skador och förluster av olika slag (Naturskyddsföreningen 2024). Effekterna märks inte minst i urbana miljöer där översvämningar och värmeböljor utgör risker för människors hälsa. För att stärka städernas anpassningsförmåga och motståndskraft kan naturens egen strategi efterliknas genom skapandet av grön infrastruktur (ibid.). Genom att anlägga grönytor i staden gynnas ekosystemtjänster som bidrar till ett hälsosammare levnadsklimat för invånarna (Pettersson Skog, Malmberg, Emilsson, Jägerhök, Capener 2021). Att skapa grönområden i stadsmiljö kan dock vara en utmanande uppgift eftersom ett flertal olika intresseområden konkurrerar om markanvändningen och det finns få nya områden att ta i anspråk. Ett effektivt sätt att öka mängden grönytor i en stad är därför att omvandla hustak till vegetationstäckta ytor, även kallade gröna tak (ibid.).

Gröna tak är ett fenomen som har använts sedan 1800-talet. Från 1980-talet började de att anläggas mer frekvent i både Norden och internationellt med syfte att förse städer med ekosystemtjänster (Sutton 2015). Dessa tjänster bidrar till stadens välfärd och livskvalitet genom att bland annat främja biologisk mångfald, förebygga urbana värmeöar, dämpa buller och förbättra lokal dagvattenhantering (Pettersson Skog et al. 2021). Ekosystemtjänster finns i kategorierna stödjande, reglerande, försörjande och kulturella (Boverket 2023a).

Många städer i världen har numera policys och lagar som driver på användandet av gröna tak. I Basel, Schweiz, gäller till exempel sedan 2002 att alla platta tak som byggs eller renoveras måste anläggas med vegetation (European Environment Agency 2024). Trots sin popularitet saknas det i dagsläget kunskap om hur funktionella gröna tak är över tid. Att de kan förse staden med ekosystemtjänster används ofta som ett argument till dess fördel, men det finns få studier på hur hållbara gröna taks processer faktiskt är i längden, förbi några år efter anläggning (ibid.). År 2018 var det exempelvis endast 3% av publicerade empiriska artiklar om ekosystemtjänster som beaktade dynamiska tidsaspekter (Rau, von Wehrden, Abson 2018).

Den långsiktiga utvecklingen av gröna tak kan ske på ett annorlunda vis än i naturliga miljöer, eftersom systemets konstruktion är artificiellt utformad med små marginaler vad gäller utrymme och vikt. Dessutom utgörs levnadsmiljön av extrema platsförhållanden som i de flesta fall inte korrelerar med en välmående vegetation (Mitchell, Emilsson, Buffam 2021). Det kan därför vara intressant att undersöka hur ålder förhåller sig till andra faktorer som påtagligt kan påverka sedumtak över tid, såsom solexponering (Rowe 2015). Sedumtak är den idag mest frekvent använda typen av gröna tak i urbana miljöer (Carlisle & Piana 2015). I publicerade artiklar studeras inte sällan sedumdominerade vegetationssystem på små och noggrant organiserade ytor och en majoritet av studier på gröna tak behandlar dem som statiska sammansättningar när de i själva verket är komplexa och föränderliga (ibid.). För att bättre förstå utvecklingen av gröna tak och dess hållbarhet som ekosystemleverantör i staden behövs fler långsiktiga studier av tak där högre ålder och komplexitet tas i beaktning (Gabrych et al. 2019).

1.1 Syfte och frågeställning

Examensarbetet genomfördes som en del av ett forskningsprojekt vid SLU i Alnarp. Projektet har pågått mellan år 2020–2023 under ledning av SLU och i samarbete med forskare vid Helsingfors universitet. Forskningsprojektet studerar hur gröna tak förändras över tid och hur dessa förändringar påverkar leveransen av ekosystemtjänster. Information har samlats in från gröna tak med varierande egenskaper belägna i Skåne län, Sverige och Helsingfors, Finland. Extern handledning erhöles av Ishi Buffam och Magdalena Krasteva från forskningsprojektet i Alnarp.

Syftet med denna studie är att undersöka hur ålder på sedumtak påverkar dess förmåga att leverera stödjande och reglerande ekosystemtjänster. Studien avser att genomföra en statistisk analys på ett urval av indikatorer för ekosystemtjänster och data tillhandahålls från 19 sedumtak som har samlats in under 2020–2021. Vidare är det av intresse att studera vilken effekt solexponering kan ha på eventuella förändringar som uppstår med varierad ålder på sedumtak.

Arbetet utgår från följande frågeställning:

1. *Hur påverkas indikatorer för ekosystemtjänster (artrikedom, vegetationstäckning, biomassa, organiskt material, vattenhållande kapacitet och näringsläckage) av ålder på sedumtak?*
2. *Vilken effekt har solexponering på dessa förändringar?*

1.2 Avgränsning

Med hänsyn till kandidatarbetets tidsomfattning och komplexitet har vissa avgränsningar gjorts.

1.2.1 Ämnesområde inom landskapsarkitektur

Detta arbete behandlar delar inom landskapsarkitektur som kan kopplas till hållbar utveckling, fysisk planering och ekologi (SLU 2023).

1.2.2 Val av ekosystemtjänster

En avgränsning har gjorts av vilka kategorier av ekosystemtjänster som beaktas i studien. Urvalet föll på reglerande och stödjande ekosystemtjänster, och därmed inte kulturella och försörjande. Motiveringen är att reglerande och stödjande ekosystemtjänster levererar produkter och tjänster som ofta efterfrågas vid skapandet av motståndskraftiga städer (Boverket 2010), något som studien hoppas bidra med forskning till.

1.2.3 Samarbete med forskningsprojekt: urval av innehåll och metod

Denna studie är inte en del av forskningsprojektet vid SLU Alnarp men har tagit del av data som samlats in inom projektet. En avgränsning har gjorts gällande:

- Val av geografisk plats:
Forskningsprojektet studerar en variation av tak i Helsingfors och Skåne. Denna studie avgränsas till att studera sedumtak i Skåne, ett omfång proportionerligt till tidsramen för kandidatarbetet.
- Val av data:
Datan som används i studien utgår från vad som samlats in i forskningsprojektet. Utifrån det har ett första urval gjorts i samråd med externa handledare inom projektet. Valet baseras på studiens syfte och innefattar variabler som antas kunna indikera stödjande och reglerande ekosystemtjänster. Urvalet är även baserat på vad tidigare forskning om faktorer som påverkar utvecklingen av sedumtak. Två väsentliga faktorer är solexponering (Getter, Bradley Rowe, Cregg 2009) och takålder (Gabrych et al. 2019), varför de valts ut att användas i studien. En annan faktor som kunde varit relevant är substratdjup (Gabrych et al. 2019), men eftersom forskning visar att djupet inte förändras nämnvärt på just dessa sedumtak över tid (Mitchell et al. 2021) anses de inte passa studien och utesluts därför.

Det slutgiltiga urvalet av data har gjorts av författarna utifrån studiens tidsomfattning samt utifrån kompetens, där variabler med stor komplexitet valdes bort med antagandet att de kräver mer djupgående studier.

Vid behov av ytterligare data har den erhållits efter hand av forskningsprojektet.

- Val av modell
En avgränsning har gjorts att endast använda en modell i den statistiska beräkningen. Valet av linjär regressionsmodell gjordes i samråd med externa handledare vid forskningsprojektet utifrån studiens tidsomfattning och data. Val av modell kommer att diskuteras djupare i kapitel 3.3.

2. Bakgrund

Gröna tak brukar delas upp i två slags vegetationssystem: extensiva och intensiva (Pettersson Skog et al. 2021). Uppdelningen har traditionellt baserats på skötselnivå, alltså den tillsyn systemet behöver för att upprätthålla vegetationens funktion, gestaltning och artsammansättning. Extensiva takplanteringar kräver färre skötselinsatser per år än de intensiva. Med denna definition kan en yta med samma substratdjup vara av olika typ baserat på hur hög vegetationens skötselnivå är. Till exempel är en perennplantering mer krävande än en ängsyta trots att båda är planterade på 20 cm substrat (ibid.).

Takuppdelningen kan också definieras beroende på substratdjup (Wilkinson & Castigliata Feitosa 2016). I dessa fall beskrivs tak med minst 10 cm substratdjup som intensiva och kan tillhandahålla levnadsmiljöer för större växter såsom buskar och träd. Till extensiva tak räknas tunna takplanteringar anpassade för lättare vegetation som till exempel *Sedum* (ibid.).

Gröna tak levereras i ett flertal olika utföranden. Extensiva tak brukar kunna vara sedumtak, sedum-örttak, ängstak och biotoptak. De kan variera i substratdjup, speciellt biotoptak beroende på vilken biotop det ska efterlikna, men har ungefär samma skötselnivå. Till de intensivare taken kan man räkna odlingsbäddar, som ska producera föda, takträdgårdar, som med sin gestaltningsidé kräver tillsyn för att upprätthålla funktion, gestaltning och artsammansättning, samt blågröna tak, som med fysiska strukturer för dagvattenhantering behöver hållas öppna och fungerande (Pettersson Skog et al. 2021).

2.1 Sedumtak

De vanligast använda växterna på extensiva gröna tak kommer från släktet *Sedum*. Vegetationstypen påminner om alvarmark och skiftar i färg och form med blomning vid god vattentillgång (Blanusa, Monteiro, Kemp, Cameron 2016) (figur 1). Sedumtak är frekvent använda i urbana miljöer av ett flertal anledningar. Taken har en låg anläggningskostnad och växterna är lättetablerade och sprider sig effektivt över ytan. Anläggningen har låg vikt eftersom sedummattor är tunna, vanligtvis cirka 3–8 cm (Dixon & Wilkinson 2016). I dessa tunna substrat trivs sedumväxter som är torktåliga och överlever i många olika slags klimat. Taken är skötleffektiva men inte helt fria från dessa behov. En viss mängd skötsel är nödvändig för att upprätthålla takets kvalitet med insatser som att stötta och återställa vegetation som dött eller påverkats negativt av näringsbrist eller av väder och vind (Pettersson Skog et al. 2021).



Figur 1. Exempel på sedum-mosstak med färgskiftningar. Foto: Ronja Zellmer, Green Roof Aging Project (2020).

2.1.1 Konstruktion

Att anlägga ett välfungerande och kostnadseffektivt grönt tak är ett komplext arbete. Det kräver noggrann matchning av substratdjup, lokalklimat, höga eller låga tak, substratkvalitet och förväntat skötselbehov (Pettersson Skog et al. 2021). De platsspecifika förhållandena påverkar mikroklimatet på taket och behöver därför beaktas. Viktiga faktorer är solinstrålning och skugga, reflektion, regnskugga (minskad lokal nederbörd), lokala vindförhållanden, vindpåverkan, frånluft från takventilation samt intilliggande träd som kan orsaka lövnedfall eller vars grenar kan slå mot det gröna taket (ibid.).

Sedumtak kan anläggas som prefabricerade vegetationsmattor eller som system av backar eller kassetter. De kan också odlas på plats med sedumsticklingar eller planteras med pluggplantor (Pettersson Skog et al. 2021). Taken konstrueras med ett tätskikt i botten som skyddar den underliggande byggnaden mot fukt samt en värmeisolering. På tjocka tak används ett rotskydd, men på sedumtak är detta överflödigt enligt svensk praxis då substratet är tunnare än 50 mm. Ovan dessa lager anläggs ett dräneringslager med en geotextil och allra längst upp ett substrat i vilken vegetationen planteras (ibid.).

2.1.2 Mossa

På de tunnaste sedumtaken kan mossor etablera sig allt eftersom tiden går. Eftersom mossor med hjälp av cyanobakterier kan fixera kväve från luften (Guo, Clasen, Rousk 2024) kan de växa och utvecklas även på växtbäddar som är urlakade på näringsämnen och finpartiklar. Så länge mossan inte dominerar kan den vara ett välkommet inslag på taket i och med sin goda vattenhållande förmåga, sin låga vikt, torktålighet och vintergröna färg. Är växtbädden full av mossor kan det dock vara en anledning att se över konstruktionens uppbyggnad eller skötseln av taket (Pettersson Skog et al. 2021).

2.2 Ekosystemtjänster

Allt liv på jorden är beroende av att det finns fungerande och hållbara ekosystem (Boverket 2023a). Det gäller inte minst för oss människor där samspelet mellan växter, djur och andra levande organismer är grundläggande för att våra behov ska kunna tillgodoses. På samma sätt som bebyggd infrastruktur fungerar ekosystemen som en levande grön infrastruktur där olika delar ska samverka och förse samhället med produkter och tjänster. I den gröna infrastrukturen kan människor ta emot tjänster såsom syre, föda, byggmaterial och skydd från extremväder (ibid.).

Ett sätt att beskriva och kategorisera ekosystemets nyttor ur ett mänskligt perspektiv är med begreppet ekosystemtjänster (Boverket 2023a). Det används som ett verktyg i samhällsbyggnad för att tydliggöra hur ekosystem kan bidra till en förbättrad välfärd och livskvalitet i det urbana samhället och vägleda i planeringen. Yttre störningar såsom mänsklig aktivitet kan skada ekosystemen, därför är det viktigt att vara medveten om sin påverkan och att använda sig av noggrann planering i samhällsbyggnaden för att skydda och främja ekosystemen. Om olika aktörer i samhället inkluderar ekosystemtjänster i sin planering kan fördelarna bli många. Bland annat kan man se en ökad folkhälsa tack vare renare luft och mark, berikade naturupplevelser och friluftsliv samt friskare barn som fått leka i naturen, Det kan också leda till bättre pollination och produktion av frukt och bär, ökad artrikedom tack vare naturbete, motståndskraftiga skogar samt naturmarker där vatten och växtlighet skapar ett skydd mot torka, översvämning och skred (ibid.).

Urbana miljöer kan vara ogästvänliga för ekosystemens processer men med god planering kan förutsättningar ges även i tät bebyggelse. Gröna tak inrymmer ekosystem skapade av mänsklig hand och som efterliknar naturen, konstruerade med vissa grundegenskaper som annars inte finns på konventionella tak. Även på dessa utsatta ytor kan stor artrikedom utvecklas, ekosystemtjänster produceras och det finns även potential för rekreation och matproduktion (Oberndorfer 2007).

2.2.1 Reglerande och stödjande ekosystemtjänster

Ekosystemtjänster är fördelade i fyra kategorier utifrån funktion: stödjande, reglerande, försörjande och kulturella (Boverket 2023b). Sedumtak anses leverera alla utom de försörjande (Pettersson Skog et al. 2021), och i detta arbete ligger fokus på de stödjande och reglerande tjänsterna.

Stödjande ekosystemtjänster innefattar enligt Boverket (2023d) de grundläggande processer i naturen som ger förutsättningar för alla andra typer av ekosystemtjänster att fungera. De delas in i följande underkategorier:

- Biologisk mångfald
- Ekologiskt samspel
- Livsmiljöer

- Naturliga kretslopp
- Jordmånsbildning

Reglerande ekosystemtjänster grundar sig i naturens egen förmåga att effektivt reglera viktiga processer, såsom att förebygga översvämningar och extremväder, rena vatten och luft, samt förbättrade klimatförhållanden. Dessa processer är avgörande för att främja en trygg och hälsosam levnadsmiljö. Störningar riskerar att leda till allvarliga konsekvenser. Enligt Boverket (2023c) fördelas reglerande ekosystemtjänster in i följande underkategorier:

- Reglerande av lokalklimat
- Erosionsskydd
- Skydd mot extremväder
- Luftrening
- Reglering av buller
- Rening och reglering av vatten (dagvattenhantering)
- Pollinering
- Reglering av skadedjur och skadeväxter

Att skapa gröna tak som tillhandahåller tillräckliga mängder ekosystemtjänster kräver insikt i vilka funktioner som behövs på den unika platsen och vilket grönt tak som ska möta efterfrågan. Sedumtak bidrar med vissa ekosystemtjänster, dock är de inte de mest högpresterande (Lundholm & Williams 2015). Det ideala gröna taket för att maximera ekosystemtjänster har följande egenskaper: “(1) relativt stora blad, (2) tät krontäckning, (3) lågväxande, mattliknande struktur för att (4) maximera skugga och minimera vattenförlust i substratet under transpiration då det finns tillgängligt vatten, vilket främjar den vattenhållande förmågan på det gröna taket. Det har också (5) ljusa blad med hår eller vax som reflekterar värme och fångar upp luftburna föroreningar, men det är också (6) grönt (7) med iögonfallande blomning för att maximera de estetiska och sociala fördelarna”. Det är svårt att hitta en art som har alla ovan nämnda egenskaper, därför är ett rimligt tillvägagångssätt för att optimera ekosystemtjänster att främja artrikedomen på platsen (ibid., s.225).

2.3 Förklarande variabler

Gröna taks utveckling påverkas av en mängd olika faktorer. De som valts ut att studeras i detta arbete delas in i två kategorier:

- Förklarande variabler (oberoende): takålder och solexponering. Dessa faktorer är föränderliga men påverkas inte av andra variabler.
- Responsvariabler (beroende): artrikedomen, vegetationstäckning, biomassa, organiskt material, vattenhållande kapacitet och näringsläckage. Dessa faktorer är föränderliga och kan påverkas av andra variabler. I studien används de som indikatorer för ekosystemtjänster.

I den statistiska beräkningen sätts variabler inom de två kategorierna i förhållande till varandra för att undersöka huruvida det finns ett linjärt samband dem emellan. Resultatet kan ge indikationer på hur sedumtakens egenskaper (responsvariabler) förändras av de yttre faktorer (förklarande variabler). Dessa förändringar kan påverka sedumtakens förmåga att leverera ekosystemtjänster över tid.

I följande två kapitel ges en teoretisk bakgrund till båda kategorierna med avstamp i de förklarande variablerna som består av takålder och solexponering.

2.3.1 Takålder

En faktor som påverkar gröna tak är tid (Rau et al. 2018). Hur det tar sig i uttryck är viktigt att studera eftersom ekosystem är dynamiska och föränderliga, och så även dess funktioner, ekosystemtjänsterna. Studier visar att olika sammansättningar av ekosystemtjänster kan förändras över olika lång tid, trots att de är del av samma ekosystem. Ett exempel är en skog som avverkats på sina träd, där man sett att kollagringen återhämtar sig efter 170 år medan återhämtningen av ätbara bär tar desto längre tid, 212 år. De återhämtar sig dessutom på olika sätt, linjärt respektive icke-linjärt. Ekosystemtjänster kan också levereras under olika tidsperioder: periodiskt, episodiskt eller permanent. En "stillbild" skulle inte ge den fullkomliga bilden, det kan endast studier över längre tid som beaktar just tidsdynamiken (ibid.).

Kategoriseringen av ekosystemtjänster, till exempel i sina fyra huvudgrupper, är hjälpsam i många fall (Rau et al. 2018). Ibland kan det dock råka uppmuntra till att värdera dem som statiska faktorer, när de i själva verket förändras i samklang med ekosystemen över tid. Att ha förståelse för denna dynamik i uppbyggnaden av gröna tak är grundläggande för att på ett effektivt sätt kunna arbeta för att upprätthålla deras leverans av ekosystemtjänster (ibid.).

Det finns fortfarande få studier på tidens påverkan på ekosystemtjänster (Rau et al. 2018). Några faktorer som dock visat sig förändras över tid är vegetationstäckning, ekologisk succession (där antalet arter i växtsamhället ökar eller minskar), substratdjup (Gabrych et al. 2019), kvävehalt i substratet samt artrikedom (Mitchell, Emilsson, Buffam 2021).

2.3.2 Solexponering

Solexponeringen skapar, tillsammans med faktorer som vind och nederbörd, det mikroklimat som kommer att råda på en plats och är därför en viktig komponent i planeringen av ett fungerande ekosystem (Dunster & Coffman 2015). Solens energi driver vattnets kretslopp och är viktig för att växter ska kunna fotosyntetisera (Naturskyddsföreningen 2021). För låg solexponering kan skapa stress hos växter, speciellt i kombination med torka (Dunnett 2015). En överlevnadsstrategi hos torktåliga växter som *Sedum* är att ha låg fotosyntes och därmed minska sin vattenförbrukning (Lambrinos 2015).

För att avgöra mängden solexponering på gröna tak observeras hur mycket skugga som täcker det under årets dagar. Skuggan undersöks med hjälp av ett verktyg som kallas Solar Path Finder

(SPF) där takets lutning och riktning samt närliggande träd och byggnader beräknas och resulterar i en procentuell skillnad mellan solinstrålningen på taket och områdets totala solinstrålning sett över ett år (Mitchell et al. 2021). Med hjälp av resultatet kan gröna tak planeras för att optimera dess funktion och hälsa över tid.

2.3.3 Exempel på förklarande variabler som inte beaktas i studien

Det finns ett antal faktorer som inte förändras av takets egenskaper och som därmed skulle kunna användas som förklarande variabler. De har valts bort enligt resonemang i 1.2 men redogörs kortfattat för under denna rubrik.

Substratdjupet är en av dessa faktorer. I substratet magasineras den största mängden vatten på gröna tak och kapaciteten varierar med djupet. Ett ökat djup kan magasinera mer vatten och ger även utrymme för växter med djupare rotprofiler att växa. Det skyddar dessutom rötterna från kyla vintertid. På de tunnaste taken överlever endast de mest torktåliga växterna, som *Sedum*, utan bevattning (Lambrinos 2015).

Det gröna takets orientering och lutning är ytterligare faktorer. De påverkar hur mycket fukt som hålls kvar i substratet, vilket i sin tur påverkar dels dagvattenhanteringen och utvecklingen av vegetationen som livnär sig på vattnet (Rowe 2015). En annan faktor är takets höjd där en ökning kan påverka vind- och solutsattheten (Sutton 2015) samt minska pollineringen och den biologiska mångfalden (MacIvor & Ksiazek 2015). Vind- och temperaturförhållanden kan båda påverka takets utveckling märkbart (Sutton & Lambrinos 2015). Takets storlek är en faktor som påverkar hur mycket tyngd det gröna taket kan hantera. En ytterligare faktor är nederbördens intensitet, volym och frekvens på platsen (Dunster & Coffman 2015).

2.4 Responsvariabler: Indikatorer för ekosystemtjänster

Responsvariablerna kan studeras som indikatorer för vilka ekosystemtjänster gröna tak bidrar med. I denna studie har ett urval av responsvariabler gjorts från den insamlade datan, utifrån huruvida de antas indikera leveransen av specifikt reglerande och stödjande ekosystemtjänster på sedumtak (se tabell 1). En enskild indikator kan kopplas till en eller flera ekosystemtjänster och flera indikatorer kan kopplas till samma ekosystemtjänst. Notera att indikatorerna enbart ger ett antagande om vilka ekosystemtjänster som tillhandahålls, inte en fullkomlig bild.

Tabell 1.

Sammanställning av indikatorer som påverkar reglerade och stödjande ekosystemtjänster.

Indikatorer för ekosystemtjänster	Ekosystemtjänster (reglerande/stödjande)
Artrikedom	Pollinering, biologisk mångfald, reglering av skadedjur
Vegetationstäckning	Reglering av lokalklimat, erosionsskydd, dagvattenhantering, biologisk mångfald
Biomassa	Reglering av lokalklimat, erosionsskydd, dagvattenhantering, biologisk mångfald
Organiskt material	Naturligt kretslopp, dagvattenhantering, biologisk mångfald
Vattenhållande kapacitet	Dagvattenhantering, reglering av lokalklimat
Näringsläckage	Naturligt kretslopp, dagvattenhantering, biologisk mångfald

Redovisar vilka stödjande och reglerande ekosystemtjänster som angivna indikatorer potentiellt kan bidra till att leverera på sedumtak. Tabellen är en sammanställning av kapitel 2.4.1 till 2.4.6 med tillhörande referenser. Illustration: Maarit Illikainen (2025).

2.4.1 Artrikedom bland kärlväxter

Det finns många sätt att beskriva mångfald i ett växtsamhälle (Cook-Patton 2015). Det som beaktas i denna studie är artrikedom, det vill säga antalet olika arter på platsen. På extensiva tak kan det exempelvis finnas många olika arter inom släktet *Sedum*. Värt att notera är att artrikedom kan vara ett förenklat mått som inte tar i beaktning viktiga variationer i hur växterna interagerar med sina omgivningar. I jämförelsen mellan ett rent sedumtak och ett blandat tak med gräs, örter och sedumarter skulle man till exempel kunna tro att det senare taket bidrar med flest funktioner, vilket inte nödvändigtvis är sant. Vid sammansättningen av gröna tak bör alla arternas funktioner värderas lika och noggrant beräknas och motiveras (ibid.).

Vid störningar kan artsammansättningen och/eller strukturen på gröna tak förändras, vilket kallas för ekologisk succession (Walker et al. 2010). Detta fenomen kan delas upp i flera kategorier:

- Primär succession innebär att levande organismer etablerar sig på en plats som tidigare saknat livsformer. Sekundär succession är den förändring som sker i ett redan befintligt ekosystem efter en störning.
- Progressiv succession innebär att ekosystemet blir mer komplext och får en ökad biodiversitet över tid. Retrogressiv succession innebär motsatt effekt med ett förenklat ekosystem och låg biomassa som följd (ibid.).

Med ökad artrikedom följer flera förbättrade ekosystemtjänster. Större artrikedom ger större biologisk mångfald av djur, och vice versa. Det ger även ökad motståndskraft mot faktorer som

kan skada växtsamhället, såsom skadedjur (Cook-Patton 2015). Olika arter av *Sedum* lockar olika arter av bin, och stöttar därmed pollineringen (MacIvor, Ruttan, Salehi 2014). Jämfört med monokulturer är diversifierade planteringar mer produktiva (Carlisle & Piana 2015). För att uppnå en mångfald på gröna tak skapas med fördel en variation av mikroklimat på ytan där olika arter kan hitta sin föredragna växtplats och bli konkurrenskraftiga (Rowe 2015). Ett hot mot artrikedomen kan vara överflöd av näring vilket har visat sig ha negativ effekt på växters mångfald (Peng et al. 2024).

2.4.2 Vegetationstäckning

Växters förmåga att täcka gröna tak varierar över tid utefter förutsättningarna på platsen och arternas individuella egenskaper (Gabrych et al. 2019). Det kan vara en utmaning för växter att täcka en yta som är solutsatt och torr, speciellt om lutningen är brant (Rowe 2015). I en studie i Helsingfors fann man att mossor spred sig mer än *Sedum* över tid på extensiva gröna tak. Taken i studien gick från att vara unga sedum-mosstak (0–4 år) till att med tiden bli mossdominerade (över 4 år), vilket är en process som observerats i ytterligare studier. Två betydande anledningar till att sedumväxter kan minska över tid är att det skett förändringar i näringstillgängligheten i de förödlade mattorna samt att sedum på djupare substrat konkurreras ut av gräs och örtartade växter. De sedumarter som klarade sig bäst var inhemska och täckte ytan väl och en viktig faktor var att substratdjupet var tunt, högst 5 cm (ibid.).

Vegetationstäckningen bidrar till reglering av lokalklimatet i området. Det skapas en kylande effekt då inkommande solenergi reflekteras bort, takets yta skuggas och växterna evapotranspirerar, vilket konsumerar värme utan att värma upp omkringliggande ytor. Transpirationsförmågan varierar dock mellan olika växtarter, där sedumväxter inte är de mest effektiva (McGuire, Payne, Orazi, Palmer 2015). Med god vegetationstäckning ges även förutsättningar för biologisk mångfald på platsen (Cook-Patton 2015), samt att rötterna bidrar till erosionsskydd av substratet (Pettersson Skog et al. 2021). En minskad vegetationstäckning kan leda till större ytor av barmark och minskad leverans av dessa ekosystemtjänster. Den vattenhållande förmågan skiljer sig dock inte mycket mellan sedumtak och tak med barmark (Lambrinos 2015).

2.4.3 Biomassa

Biomassa är materia som ingår i levande organismer och ökar i takt med mångfalden i växtsamhället (Cook-Patton 2015). Inom forskning mäts ansamlingen av biomassa på olika skalor, varav den minsta är genom att se till hela plantan (delar över och under marken) och de större är på lokal skala eller som stora ekosystem (CID Bio-science 2022).

Det finns ett antal faktorer som påverkar hur biomassan utvecklas på en plats. En är växternas attribut, dess morfologi, genetik och fysiologi. Miljöfaktorer som lufttemperatur, luftfuktighet, ljusintensitet och solexponering har också en inverkan, liksom markförhållanden som temperatur, markfuktighet, tillgång på näringsämnen, jordtyp och packning av marken (CID Bio-science 2022). Den mikrobiella biomassan har visat sig kunna vara större på marken än i

gröna tak (Sutton & Lambrinos 2015). Stresståliga växter som *Sedum* har mindre biomassa än andra växter såsom gräs och örter (Dunnet 2015).

Växter reglerar lokalklimatet genom att de utför gasutbyte med sina växtdelar. *Sedum* har begränsat gasutbyte som strategi för torktålighet, vilket kan ha effekten av minskad mängd föroreningar i den omkringliggande luften (Lundholm & Williams 2015). Ansamling av biomassa över och under jorden bidrar till att skapa ett varierat substrat på gröna tak, något som gynnar biologisk mångfald i växtsamhället (Sutton & Lambrinos 2015). Det organiska materialet har även en positiv påverkan på dagvattenhanteringen eftersom det ökar den vattenhållande förmågan i substratet. Det ger även erosionsskydd eftersom den levande biomassan hindrar jorden på taket från att flytta på sig (Pettersson Skog et al. 2021).

Nedbrytningen av biomassa bidrar också till ekologiska förändringar på gröna tak. Att låta död biomassa ligga kvar efter växtsäsongen kan öka förekomsten av bland annat ryggradslösa djur (MacIvor & Ksiazek 2015). Död biomassa fångar upp snö vilket kan leda till bättre isolering av byggnader i anslutning till gröna tak (Lundholm & Williams 2015).

2.4.4 Organiskt material

Organiskt material tillsätts ofta på gröna tak för att förse växtbädden med näring. Det kan tillsättas som gödningsmedel eller integreras i substratet i form av kompost eller annat material såsom vissna rötter och blad eller död biomassa från mikrolivet i substratet (Buffam & Mitchell 2015).

Organiskt material i jorden påverkar det biologiska mikrolivet och jordstrukturen positivt (McGuire et al. 2015). De tunnaste extensiva taken har dock begränsat mikroliv, därför kan nedbrytning vara långsammare på dessa än på djupare tak. En effekt kan bli att det organiska materialet inte bryts ned utan ackumuleras, vilket kan öka tyngden på taket. För höga halter organiskt material kan även ha en negativ påverkan på mångfalden av arter samt på växters förmåga att täcka ytan, med undantag för *Sedum* som verkar dra nytta av ökningen (Thuring & Dunnett 2014). Genom att tillsätta organiskt material i substratet, såsom kompost eller biokol, kan den vattenhållande förmågan förbättras vilket gynnar dagvattenhanteringen på platsen. Det ökar även mängden tillgängligt vatten för växterna på det gröna taket (Lambrinos 2015).

2.4.5 Vattenhållande kapacitet

Gröna tak fördröjer och håller vatten effektivare än konventionella tak (Lundholm & Williams 2015), vilket påverkar dagvattenhanteringen positivt. Mellan sedumtak och rena substrattak är skillnaden dock liten (Lambrinos 2015). I vattenhanteringssyfte är *Sedum* inte optimal eftersom växterna inte evapotranspirerar märkbart och i kombination med att de har tunna växtbäddar är de inte effektiva på att ta hand om återkommande regn (Blanusa et al. 2016).

För att uppnå god fördröjning kombineras med fördel växter med hög transpirationskapacitet och hög torktålighet som samtidigt kompletterar varandra gällande vattenanvändning och andra funktionella egenskaper (Lambrinos 2015). Vegetationens funktion och struktur har också en

effekt, som att höga växter med stora blad som fångar upp regn och samtidigt minskar evapotranspiration från substratet (Lundholm & Williams 2015). Rotmassan bidrar också till den vattenhållande kapaciteten. Mossor fungerar som "svampar" och kan hålla 8-10 gånger sin egen torrsvikt i väl vattnade tillstånd (Lambrinos 2015).

Gröna tak kan påverka regleringen av lokalklimat positivt. Sedumväxter håller stora mängder vatten i sina växtdelar, vilket kan ha en kylande effekt på den anslutande byggnaden. Detta kan minska energiförbrukningen från användningen av luftkonditionering (Blanusa et al. 2016) samt sänka temperaturen kring byggnaden på varma dagar (Osmond & Irger 2016).

2.4.6 Näringsläckage

Tillgången till näring är viktig för vegetationens utveckling på gröna tak och den biologiska mångfalden (McGuire et al. 2015). För höga halter av näring kan dock gynna konkurrenskraftiga växter som kan komma att dominera ytan (Dunnett 2015). Tre centrala näringsämnen är kol, kväve och fosfor och näringen kan tas upp från olika källor (Buffam & Mitchell 2015). I växtbädden finns bakterier och svampar som bryter ned organiskt material och håller igång kretsloppet av näring i jorden. Atmosfäriskt kväve finns i överflöd, men är otillgängligt för ekosystemen om det inte finns bakterier som kan konvertera det till ammonium, vilket är den form av kväve som växter kan ta upp (ibid.).

Gröna tak anläggs med ett överflöd av näring, relativt till växternas behov. Eftersom både kapaciteten att hålla kvar näringen i substratet och i de nyplanterade växterna är låg förväntas näringen läcka efter anläggning. Ett problem med näringsläckaget är dess effekt på dagvattenhanteringen och det naturliga kretsloppet, då ekosystem nedströms kan påverkas negativt av det höga näringsinnehållet i avrinningen (Buffam & Mitchell 2015).

3. Material och metod

3.1 Metod

Metoden för arbetet grundar sig på statistiska analyser med linjär regression, där använt material har samlats in inom forskningsprojektet på en kronosekvens av sedumtak i Skåne län under år 2020–2021. Den insamlade datan är en uppsättning av ekologiska värden som ger information om tillstånd för utvalda responsvariabler vid provtagningsstillfället. Dessa studeras sedan i förhållande till utvalda förklarande variabler. Ett urval av data har skett utifrån en teoretisk bedömning av vilka variabler som lämpligast indikerar på hur ekosystemtjänster påverkas på sedumtak över tid, eftersom dessa behövde avgränsas i antal av tidsmässiga skäl. Det har av samma anledning heller inte utförts någon förberedande analys av datan inför den statistiska analysen. Detta beslut togs i samråd med handledare i projektet. Datan bedömdes vara grundligt analyserad av forskare inom forskningsprojektet och den linjära modellen ansågs mest lämpad för studiens syfte och material. En mer ingående redogörelse av studerade sedumtak och analysmetod sker i kapitel 3.2 och 3.3.

Studien är underbyggd av litteratur, men är ingen litteraturstudie. Källor består huvudsakligen av vetenskapliga artiklar och kurslitteratur som har inhämtats från SLU- bibliotekets digitala tjänst Primo och databaser som Web of Science, Research Gate, British Ecological Society Journals, Jstor och Springer Nature Link. Även hemsidor och rapporter från svenska myndigheter har använts som material, däribland Grönatakhandboken som har finansierats av Sveriges innovationsmyndighet Vinnova med syftet att skapa högkvalitativa vegetationssystem som håller över tid (Pettersson Skog et al. 2021).

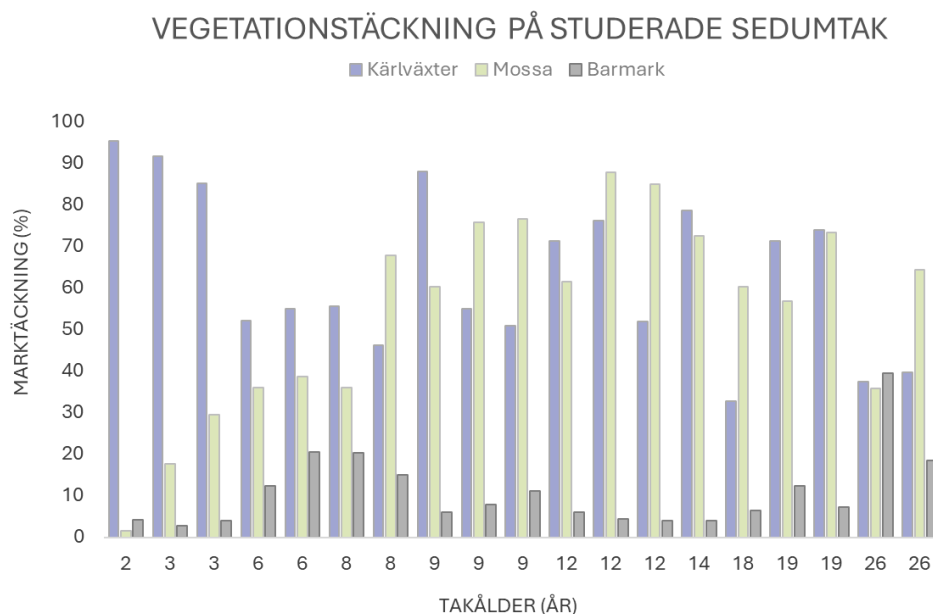
3.2 Studerade sedumtak

I denna studie har data från totalt 19 sedumtak från södra Sverige undersökts, varav 17 är belägna i Malmö och två i Lund. Åldersmässigt varierar dessa sedumtak från 2 till 26 år under provtagningsstillfället. I tabell 2 redovisas detaljerad information om egenskaper för respektive sedumtak, såsom ålder och andra väsentliga platsförutsättningar. Andra parametrar som kan skilja sedumtaken från varandra är taklutning (se figur 2), solexponering, takarea, höjd över marknivå och läge.



*Figur 2. Studerade sedumtak, M9 och M17, som illustrerar substratdjup och taklutning.
Foto: Ronja Zellmer, Green Roof Aging Project (2020).*

Alla sedumtak är extensiva och byggdes med så enkel konstruktion som möjligt. De sedumtak som installerades mellan 1994–2014 har anlagts med Xeroflor från Ortholz, Tyskland (Mitchell et al. 2021). Den dominerande vegetationen var från början *Sedum album*, *S. acre* och *Phedimus* spp. Andra suckulenter, gräs och örtartade växter kan dock förekomma på sedumtaken. Substratdjup vid anläggande varierade mellan tak som etablerades innan och efter 2005 där de äldre hade ett djup på 3,0 cm och de yngre ett djup på 2,5 cm. Substratet som hålls på plats av ett geotextilnät består av krossad lavasten, kalkhaltig jord, lera och torv. Det hade vid etablering ett pH-värde på 7,4, torr skrymdensitet på 1,4 g/cm³ och 5,3 % organiskt material. Efter anläggning har sedumtaken inte blivit gödslade och det har ej heller utförts någon form av skötsel av vegetationssystemen (ibid.). Notera att ett sedumtak kan se ut att ha mer än 100% marktäckning om värdena summeras, vilket beror på att kärlväxter och mossor kan ha ett överlappande växtsätt.



Figur 3. Illustrerar studerade sedumtak som fördelats efter ålder, samt hur stor andel av takens marktäckning som består av kärlväxter (blå), mossor (grön) och barmark (grå). Illustration: Maarit Illikainen (2025).

Tabell 2.

Sammanställning av de studerade sedumtakens egenskaper och förutsättningar under 2020/2021.

Tak ID	Byggår	Ålder (år)	Djup (cm)	Area (m ²)	Lutning (grader)	Väderstreck (grader)
M1	2008	12	2.63	250.42	2.3	70
M2	2008	12	3.13	231.47	2	80
M3	2011	9	2.54	18.88	1	350
M4	2011	9	2.26	62.56	2.3	165
M5	2011	9	2.04	25.35	2.3	345
M6	2008	12	2.34	36.77	0	350
M8	2012	8	1.74	131.84	1.8	70
M9	2012	8	1.35	186.38	2	320
M10	2014	6	2.12	34.68	3	95
M11	2014	6	2.29	36.26	3	220
M12	2006	14	2.44	39.2	3.5	280
M13	1994	26	2.66	403	12.5	220
M14	1994	26	2.83	336.84	12	230
M15	2002	18	2.2	295.65	15	190
M16	2001	19	2.65	40	14	190
M17	2001	19	3.09	40	1.5	190
M18	2017	3	2.21	162.62	4	50
M19	2017	3	2.39	53.36	4	178
M24	2018	2	2.64	71.74	3	188

Redovisar information om sedumtak vid provtagningstillfälle under år 2020-2021. Anger år för anläggning, takålder, substratdjup, total planteringsyta i kvm och taklutning i grader. Sist fastställs vilket väderstreck taket är riktat mot utifrån följande värden: 0° - Nordlig riktning, 90° - Östlig riktning, 180° - Sydlig riktning, 270° - Västlig riktning. Illustration: Maarit Illikainen (2025).

3.3 Statistisk analys

Vid analys har enkel linjär regression använts som statistisk modell för att undersöka huruvida det finns ett linjärt samband mellan takålder och indikatorer för ekosystemtjänster på studerade sedumtak. Den oberoende variabeln för arbetets första frågeställning har varit takålder. För att svara på den andra frågeställningen har en multipel linjär regressionsanalys genomförts, där både takålder och solexponering har utgjort den oberoende variabeln. I denna studie sker ett antagande om att solexponering på undersökta sedumtak är konstant över tid, vilket inte nödvändigtvis reflekterar hela verkligheten. Vilka beroende variabler som använts för respektive statistisk analys kan avläsas från tabell 3, tillsammans med modellstatistiken.

Den statistiska analysen genomfördes huvudsakligen i programvaran Excel, Microsoft Office. Ett par av uträkningarna repeterades även i R Studio för att validera resultaten från Excel, eftersom R Studio anses vara mer beprövad vid statistiska beräkningar. Utfallet blev samma i båda programmen, vilket kan bero på att studiens dataset är relativt litet och den statistiska beräkningen förhållandevis enkel. En avancerad programvara är därför troligtvis inte nödvändig och Excel ansågs vara tillförlitligt nog för att användas vidare i detta arbete. Visualisering av resultat var också mer effektivt att genomföra i Excel.

3.3.1 Varför linjär regression?

Det är viktigt att använda en så enkel modell som möjligt vid analys av data och att modellen appliceras korrekt (Zuur, Ieno, Walker, Saveliev, Smith 2009:19). Linjär regressionsanalys är väldigt användbar, eftersom den hjälper till att identifiera samband mellan variabler och huruvida dessa korrelationer är positivt, negativt eller icke existerande (Environmental Standards 2020). Den kan även användas för att modellera flera oberoende variabler på ett kontrollerat sätt, vilket möjliggör en djupare förståelse för hur variabler påverkas av yttre faktorer och hur dessa interagerar med varandra (ibid.).

Linjär regression är ett avgörande verktyg inom miljöforskning (Environmental Standards 2020) och en av de mest använda statistiska modellerna vid studier kring livs- och geovetenskap (Environmental Computing 2022). Enligt Zuur et al. (2009:17) är modellen utan tvekan "*the mother of all models*", vilket ger en indikation på dess popularitet. Den linjära regressionsmodellen används bland annat flitigt vid analys av data inom ekologi och evolutionslära, eftersom det är ett bra verktyg för att studera signifikansen av individuella prediktorer och för att uppskatta den effekt som dessa har på studerade variabler (Schielzeth 2010).

3.3.2 Viktiga kriterier vid analys av linjär regression

Det finns kriterier som är viktiga att beakta vid linjär regression för att tyda om modellen är lämplig för den data som ska studeras. Dessa kriterier utgår från antaganden som möjliggör en analys av samband mellan variabler och är grunden vid linjär regressionsanalys (Zuur et al. 2009:17-19). Vissa antaganden har mer tyngd än andra och det är inte nödvändigtvis så att alla kriterier behöver uppfyllas för att den linjära regressionsmodellen kan anses vara användbar. Dock är det viktigt att förstå hur dessa korrelerar med varandra och hur det slutgiltiga resultatet påverkas av att kriterier inte uppfylls (ibid.). Nedan redogörs för viktiga antaganden vid linjär regressionsanalys.

- **Ett linjärt samband** måste finnas för att en linjär modell ska användas (Environmental computing 2022). Om sambandet inte är linjärt så kan en transformation av data vara aktuell eller att en annan icke-linjär modell används istället (ibid.)
- **Normalfördelningen** av residualer är grunden till en giltig regressionsanalys. Residualer är skillnaden mellan observerade och antagna värden för den beroende variabeln (Zuur et al. 2009:19-20). Vid bedömning av normalfördelningen så kan en *Q-Q plot* eller histogram användas och där undersöks framförallt hur residualer fördelar sig över diagrammens diagonala linje som utgör medelvärdet (Pardoe 2020a:69). Om residualerna avviker från linjen, så kan detta indikera på att antagandet om normalfördelning inte uppfylls och kan innebära att det finns problem med modellen såsom extremvärden (ibid.). Det finns dock en del forskare som menar att det kan ske en viss överträdelse i residualernas normalfördelning utan att detta behöver påverka modellens trovärdighet (Zuur et al. 2009:19-20).

- **En konstant varians**, *Homoskedasticitet*, innebär att residualerna är jämnt fördelade längs regressionslinjen i en "*Versus fits*"-plot när värdet för den förklarande variabeln ökar. Om fördelningen istället liknar exempelvis en trattformation längs x-axeln, så kan detta tyda på att antagandet inte uppfylls (Pardoe 2020a:69). Mindre överträdelser behöver inte vara ett problem, men en större avvikelse i varians bör inte avfärdas med lättsamhet då detta troligtvis innebär att modellen inte passar datan (Zuur et al. 2009:20-21). Även om andra signifikanta värden indikerar på ett starkt samband så tappar dessa sin tillförlitlighet om variansen är stor (ibid.).
- **Oberoende** innebär att observationerna som studeras inte får vara beroende av varandra, eftersom det kan leda till en ökad risk för att observationer är för lika i sina egenskaper (Zuur et al. 2009:21-22). Denna typ av avvikelse blir problematiskt genom att viktiga värden kan förvrängas och ge missvisande resultat som inte överensstämmer med de verkliga observationerna som helhet (ibid.).

En annan aspekt att bekanta sig med vid analys är modellstatistiken som är arbetets huvudsakliga resultat. Den ger bland annat en indikation på hur tillförlitlig en modell är i förhållande till det studerade materialet, samt hur stor sannolikheten är att det finns ett samband mellan en beroende och en oberoende variabel. I modellstatistiken finns vissa specifika värden som är betydelsefulla för att analysera resultatet. Nedan redogörs de värden som denna studie främst använt sig av vid analys.

- **P-värdet**, P , används exempelvis som ett mått på hur sannolikt det är att observerade skillnader är slumpmässiga (Pardoe 2020a:59-64). Den bör vara 0,05 eller lägre för att anses vara statistiskt signifikant. Värdet ligger alltid mellan 0,0 - 1,0 (ibid.). Varje förklarande variabler som används vid multipel regression anges med ett separat P-värde.
- **R-kvadraten**, R^2 , indikerar istället hur väl modellen passar datan och bör generellt ha ett så högt värde som möjligt (Pardoe 2020a:53-56). Värdet ligger alltid mellan 0,0 - 1,0. Samma värde anges för alla förklarande variabler vid multipel regression (ibid.).
- **Justerad R-kvadrat**, *Adjusted R^2* , används istället för R-kvadraten vid multipel linjär regressionsanalys (Pardoe 2020b:109-113). Detta då den justerade är bättre lämpad för att utvärdera en analys som tar hänsyn till fler än två variabler (ibid.).
- **F-värde**, F , är ett mått för att testa huruvida någon variabel kan påverka den beroende variabel som studeras och ger indikationer på om modellen är signifikant (Zuur et al. 2009:23-25).
- **Signifikant F**, *Sig. F*, är ett mått som indikerar på om F-värdet är signifikant (Zuur et al. 2009:23-25). Detta värde bör likt P-värdet vara 0,05 eller lägre. Värdet ligger mellan 0,0 - 1,0 (ibid.).

- **Koefficienten**, *Coefficient*, redogör för hur stor förändring som sker per enhet och illustrerar i regressionslinjens lutning (Pardoe 2020a: 57-59). Koefficienten redovisas för varje förklarande variabel.

Avläsning av statistiska värden bör däremot göras med en viss försiktighet och det krävs att flera aspekter tas i beaktning för att avgöra om en modell är tillförlitlig eller inte (Pardoe 2020a:50-51). Modellen kommer aldrig att ge en fullkomlig bild av relationen mellan variabler och det är därför viktigt att hålla ett kritiskt ställningstagande vid analys av statistiska resultat (ibid.).

4. Resultat

I följande kapitel redovisas resultaten från genomförda linjära regressionsanalyser. Både enkel och multipel linjär regression har utförts. Det senare har däremot enbart använts på de responsvariabler vars utfall har visat kompatibilitet med en linjär modell eller på annat vis har indikerat att solexponering kan vara en betydande faktor. Om vidare modellering med en linjär metod sker ovarsamt och utan hänsyn till beräknade utfall, så kan detta ge missvisande resultat.

Spridningsdiagram används främst som ett illustrativt verktyg för att visa på förhållandet mellan förklarande variabel och responsvariabel, vilket kan vara värdefullt att sätta i kontext till residualer och modellstatistik för respektive beräkning. Diagrammet har även en regressionslinje som visar på den antagna trenden som har beräknats fram av regressionsanalysen. Ibland kan denna regressionslinje vara missvisande om sambandet enligt modellstatistiken inte visar en linjär tendens eller om ett samband saknas helt. I sådana fall har regressionslinjen illustrerats i rött för att förtydliga att den antagna trenden har låg tillförlitlighet. Notera även att det inte finns något spridningsdiagram som illustrerar sambandet från den multipla regressionsanalysen med takålder och solexponering som förklarande variabler. Istället illustreras samband mellan responsvariabler och respektive förklarande variabel separat, där diagrammet har framställts genom enkel linjär regression.

4.1 Modellstatistik

I tabell 3 utläses vilka responsvariabler och förklarande variabler som analyserats gentemot varandra, samt vilken statistik som genererats av enkel linjär regressionsanalys. Tabell 4 sammanställer samma information och resultat, men för multipel linjär regressionsanalys. Modellstatistiken i dessa tabeller utgör den huvudsakliga grunden för arbetets resultat. För att analysera resultat så har P-värde och R-kvadraten varit i fokus vid enkel regression, medan P-värde och justerad R-kvadrat studerats vid multipel regression.

Tabell 3.

Sammanfattning av signifikant modellstatistik och medelvärden för responsvariabler vid enkel linjär regressionsanalys.

Responsvariabler	Förklarande variabler	Modellstatistik			
		DF	F	P	R ²
Artrikedom KV	Ålder	18	3.297	0.087	0.162
Vegetationstäckning KV	Ålder	18	6.275	0.023	0.270
Vegetationstäckning M	Ålder	18	3.478	0.080	0.170
Biomassa KV	Ålder	18	0.073	0.790	0.004
Biomassa M	Ålder	18	0.530	0.476	0.030
Organiskt material	Ålder	18	3.588	0.075	0.174
Vattenhållande kapacitet	Ålder	18	0.941	0.346	0.052
Fosforläckage	Ålder	18	0.038	0.848	0.002
Kväveläckage	Ålder	18	0.853	0.369	0.048

KV = Kärlväxter, M = Mossa. Illustration: Maarit Illikainen (2025).

De resultat som utmärker sig vid enkel regression är artrikedom, vegetationstäckning av kärlväxter och mossa och organiskt material (tabell 3). Modellstatistiken för dessa indikerar på att det kan finnas ett linjärt samband, dock behöver resultaten även sättas i förhållande till fördelning av residualer och spridningsdiagram. I tabell 4 så indikerar modellstatistiken på att det finns ett tydligt linjärt samband mellan artrikedom och solexponering, medan ålder verkar ha ett samband till biomassa av kärlväxter, vegetationstäckning av kärlväxter och mossa.

Tabell 4.

Sammanfattning av signifikant modellstatistik och medelvärden för responsvariabler vid multipel linjär regressionsanalys.

Responsvariabel	Förklarande variabel	Modellstatistik					
		Adjusted R ²	DF	F	Sig. F	P	Coefficient
Artrikedom KV	Ålder	0.569	18	12.88	0.0005	0.4081	-0.0295
	Solexponering	-	-	-	-	0.0005	-0.0046
Vegetationstäckning KV	Ålder	0.179	18	2.96	0.0805	0.0408	-1.3692
	Solexponering	-	-	-	-	0.9119	-0.0021
Vegetationstäckning M	Ålder	0.293	18	3.31	0.0625	0.0272	1.8198
	Solexponering	-	-	-	-	0.1147	-0.0376
Biomassa KV	Ålder	0.176	18	2.92	0.0831	0.568	6.5832
	Solexponering	-	-	-	-	0.0291	-0.8159
Biomassa M	Ålder	0.101	18	0.89	0.4285	0.2924	5.3968
	Solexponering	-	-	-	-	0.2801	-0.1671

Förklarande variabler har samma värde för följande; adjusted R², DF, F och Sig. F.

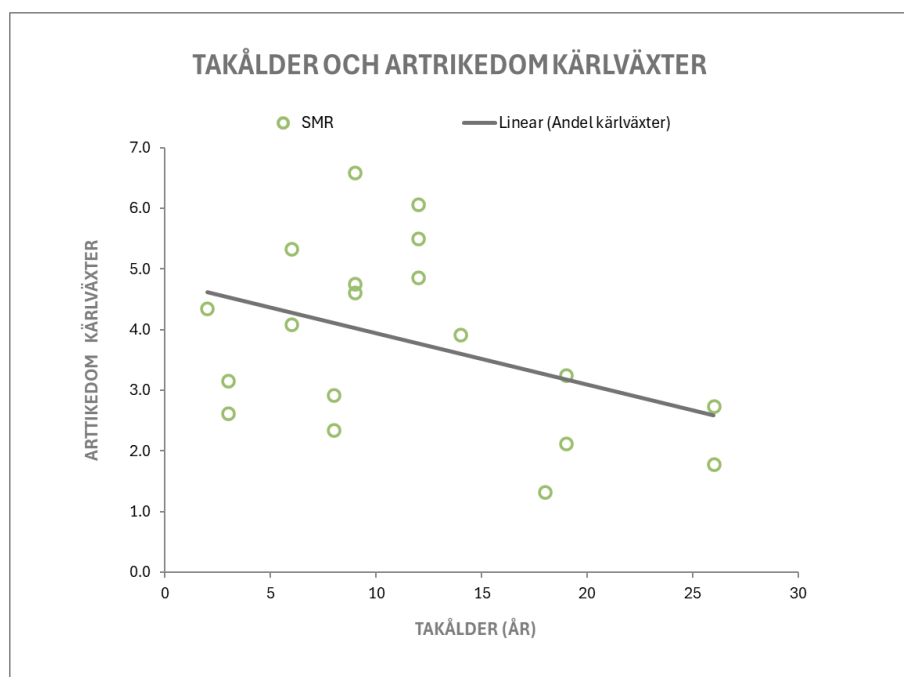
KV = Kärlväxter, M = Mossa. Illustration: Maarit Illikainen (2025).

4.2 Artrikedom

Datan för artrikedom anger det genomsnittliga antalet taxa av kärlväxter som finns på studerade sedumtak. Detta har beräknats från flera slumpmässigt utvalda kvadrater och de flesta växter har identifierats ned till artnivå. Undantag gäller dock för gröna tak med inslag av gräs, där fastställande av arter inte varit lika detaljerade. Det finns heller ingen data som behandlar artrikedom för mossor. Artrikedom och ålder analyseras även i förhållande till solexponering.

4.2.1 Ålder

Resultatet indikerar ett svagt linjärt samband mellan takålder och kärlväxters artrikedom. Här uppvisar artrikedom ett lägre värde på äldre tak än yngre, vilket tyder på att artrikedom avtar med ökad ålder och detta förtydligas av regressionslinjen (figur 4). Sedumtak i åldrarna 10 - 15 år har däremot högst värden i diagrammet, trots att det finns en viss variation inom åldersspannet. Denna ojämna fördelning mellan åldrar försvagar troligtvis det linjära sambandet, vilket också bekräftas av residualer och modellstatistik (tabell 3). P-värdet för ålder är 0,087 och R-kvadraten 0,162.

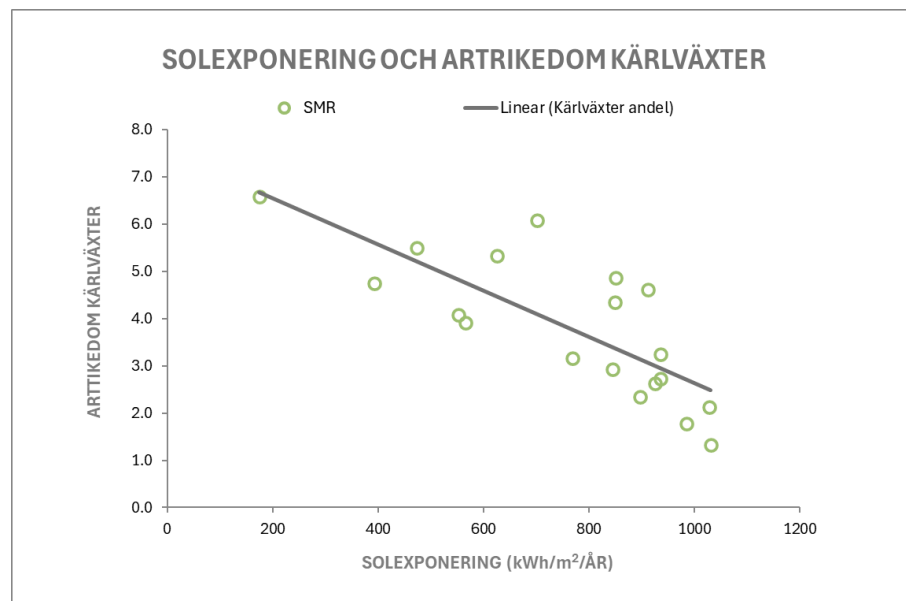


Figur 4. Illustrerar ett svagt linjärt samband mellan kärlväxters artrikedom och takålder på studerade sedumtak. SMR = sedumtak. Illustration: Maarit Illikainen (2025).

4.2.2 Solexponering och ålder

Ett tydligt linjärt samband indikeras mellan artrikedom av kärlväxter och solexponering. Här framgår det att sedumtak med en högre solexponering har lägre artrikedom av kärlväxter och regressionslinjen visar därmed på en avtagande trend (figur 5). Modellstatistik (tabell 4) och residualer bekräftar det linjära sambandet. P-värdet för solexponering är 0,0005, signifikant F-värdet 0,0005 och justerad R-kvadrat 0,569. Koefficienten för solexponering är -0,0046 (tabell

4). Vad gällande takålder så finns inga indikationer på ett linjärt samband till artrikedom av kärlväxter där P-värdet för ålder är 0,4081 efter multipel regression.



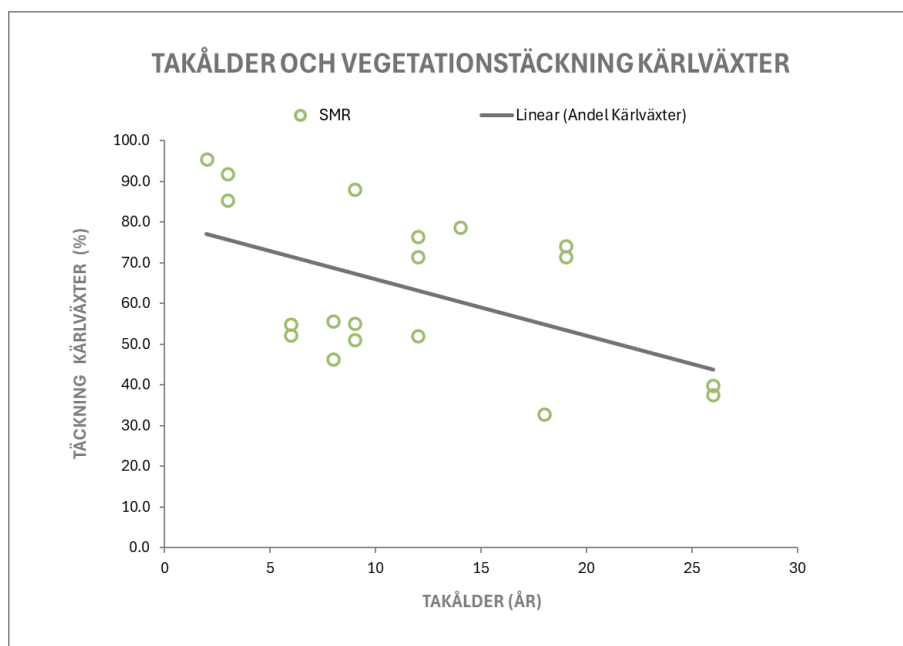
Figur 5. Illustrerar ett tydligt linjärt samband mellan kärlväxters artrikedom och solexponering på studerade sedumtak. SMR = sedumtak. Illustration: Maarit Illikainen (2025).

4.3 Vegetationstäckning

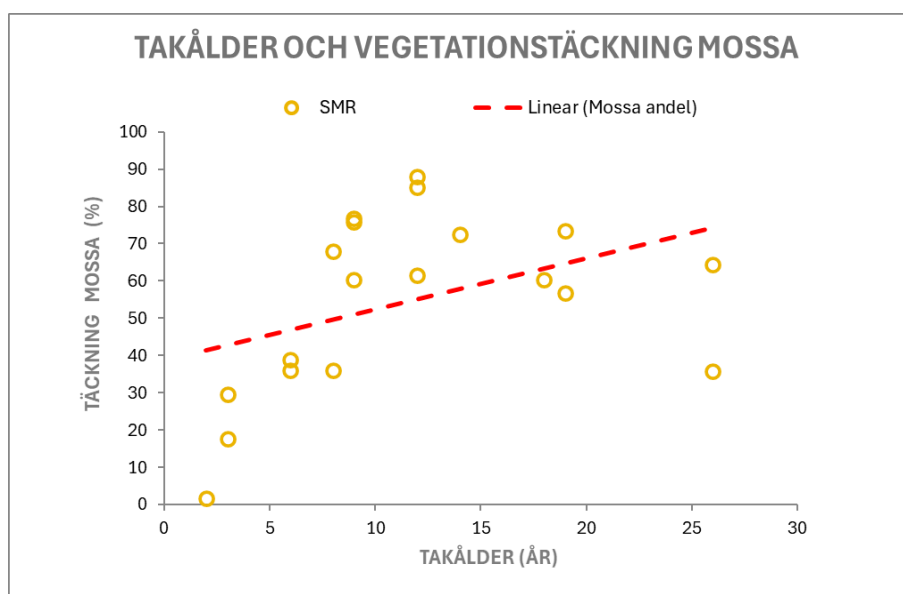
Datan för vegetationstäckning anger hur många procent av det studerade sedumtaket som är synligt täckt av antingen kärlväxter eller mossor. Dessa två vegetationstyper analyseras separat, men en sammanställning över hur kärlväxter, mossor och barmark fördelas på respektive sedumtak kan avläsas från figur 3. Vegetationstäckning och ålder analyseras även i förhållande till solexponering genom en multipel linjär regression.

4.3.1 Ålder

Resultatet visar på ett tydligt samband mellan takålder och vegetationstäckning av kärlväxter. Yngre exemplar har en högre täckningsgrad av kärlväxter än äldre sedumtak och regressionslinjen indikerar därmed på en avtagande trend med ökad ålder (figur 6). Modellstatistik (tabell 3) och residualer bekräftar det linjära sambandet. P-värdet för ålder är 0,023 och R-kvadraten 0,27.



Figur 6. Illustrerar ett tydligt linjärt samband mellan takålder och kärleväxters vegetationstäckning på studerade sedumtak. SMR = sedumtak. Illustration: Maarit Illikainen (2025).



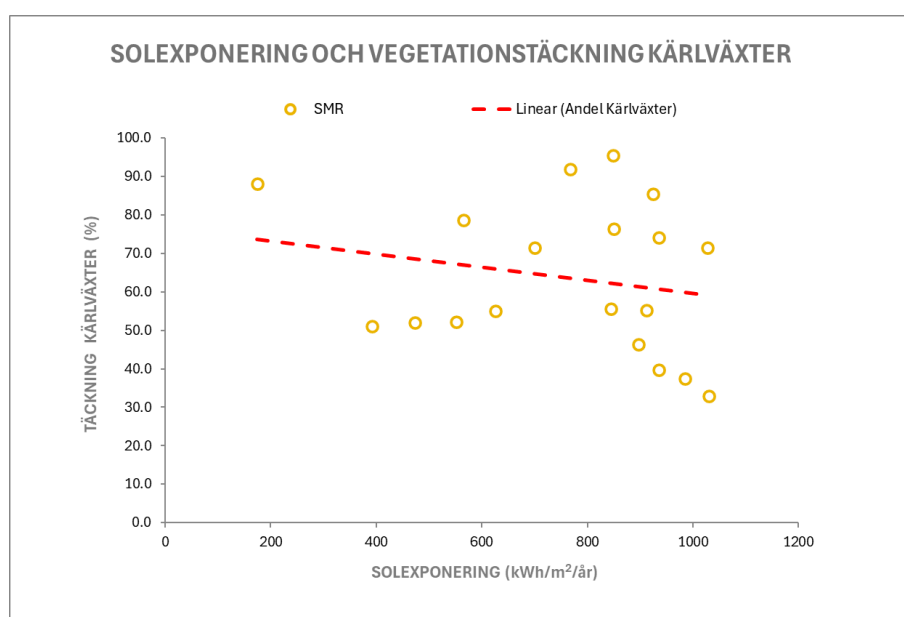
Figur 7. Illustrerar otydligt sambandet mellan takålder och vegetationstäckning av mossa. Röd regressionslinje indikerar potentiellt på missvisande trend. SMR = sedumtak. Illustration: Maarit Illikainen (2025).

Vad gäller resultatet för vegetationstäckning av mossa och takålder har denna analys inte visat något tydligt linjärt samband. Modellstatistiken indikerar initialt på relativt tillförlitliga värden (tabell 3), men utifrån residualer och fördelningen av datapunkter ser resultatet inte ut att ha ett linjärt samband. Regressionslinjen anger en uppåtgående trend, men detta är troligtvis missledande (figur 7). Kurvan antyder snarare att yngre sedumtak mellan 0 – 5 år har lägst täckning av mossa, medan högst täckning kan utläsas på tak mellan 5 – 15 år. Efter 15 års ålder

verkar mossans vegetationstäckning istället få en avtagande trend. P-värdet för ålder är 0,08 och R-kvadraten 0,17.

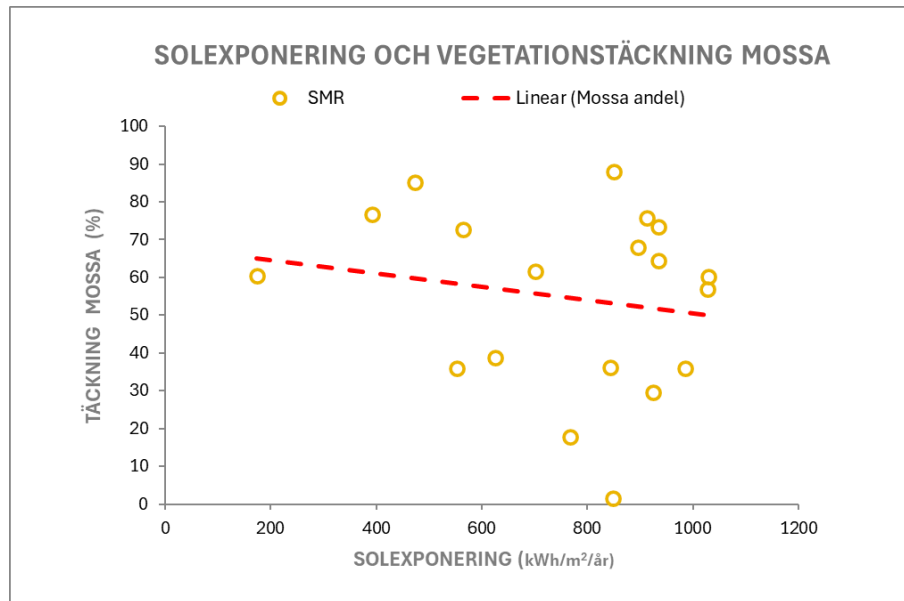
4.3.2 Solexponering och ålder

Inget linjärt samband kan utrönas mellan solexponering och vegetationstäckning av kärlväxter. Regressionslinjen tyder på en avtagande trend (figur 8), men detta är troligtvis ett missvisande resultat eftersom modellen inte ser ut att passa enligt modellstatistiken (tabell 4) och residualer. P-värdet för solexponering är 0,9119, signifikant F-värdet 0,0805 och justerad R-kvadrat 0,179. Vad gällande takålder så finns det indikationer på ett linjärt samband till vegetationstäckning av kärlväxter, där P-värdet för ålder är 0,0408 efter multipel regression. Koefficienten för ålder med ett värde på -1,3692 visar att sambandet har en avtagande trend (tabell 4) i likhet med figur 6.



Figur 8. Illustrerar inget linjärt samband mellan solexponering och vegetationstäckning av kärlväxter. Röd regressionslinje indikerar missvisande trend. SMR = sedumtak.
Illustration: Maarit Illikainen (2025).

Det finns inga tydliga indikationer på ett linjärt samband mellan solexponering och vegetationstäckning av mossor. Regressionslinjen visar på en avtagande trend (figur 9), men blir troligtvis missvisande i kontext till den truttformade fördelningen av datapunkter. Modellstatistik (tabell 4) och residualer har däremot inte allt för avvikande värden, även om dessa inte håller samma riktlinjer i kap 3.3.1. P-värdet för solexponering är 0,1147, signifikant F-värdet 0,0625 och justerad R-kvadrat 0,293. Vad gäller takålder finns det indikationer på ett tydligt samband till vegetationstäckning av mossor, där P-värdet för ålder är 0,0272 efter multipel regression. Koefficienten för ålder med ett värde på 1,8189 visar att sambandet har en uppåtgående trend (tabell 4) i likhet med figur 7.



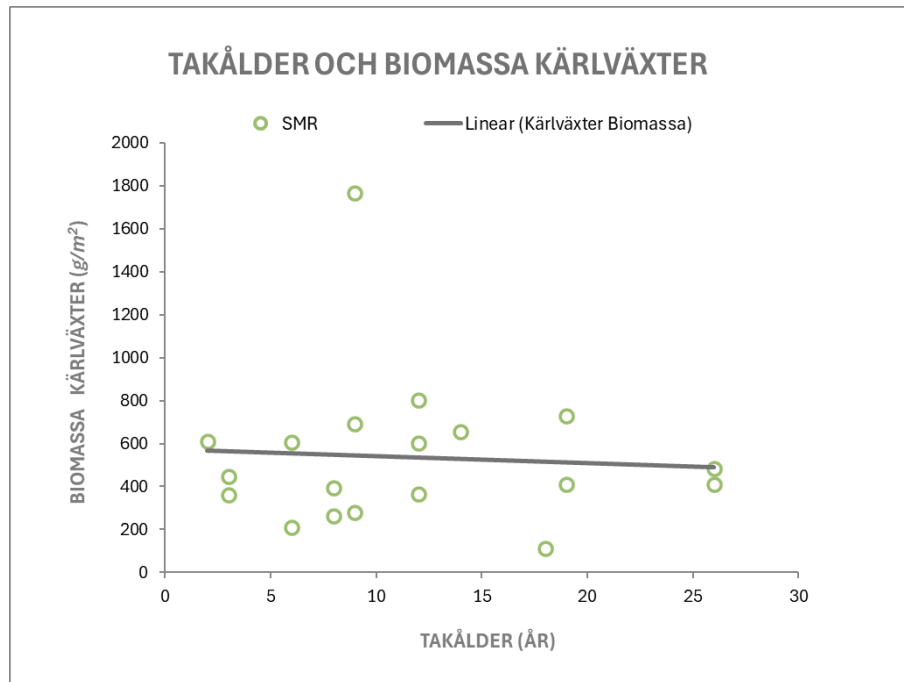
Figur 9. Illustrerar inget linjärt samband mellan solexponering och vegetationstäckning av mossor. Röd regressionslinje indikerar på en potentiellt missvisande trend. SMR = sedumtak. Illustration: Maarit Illikainen (2025).

4.4 Biomassa

Data motsvarar den sammanlagda biomassan både över och under jord, där genomsnittliga prover har tagits från två kärnor på varje sedumtak. Insamlat material omfattar både kärlväxter och mossor, fast som separata prover. Anges som g/m². Biomassa och ålder analyseras även i förhållande till solexponering.

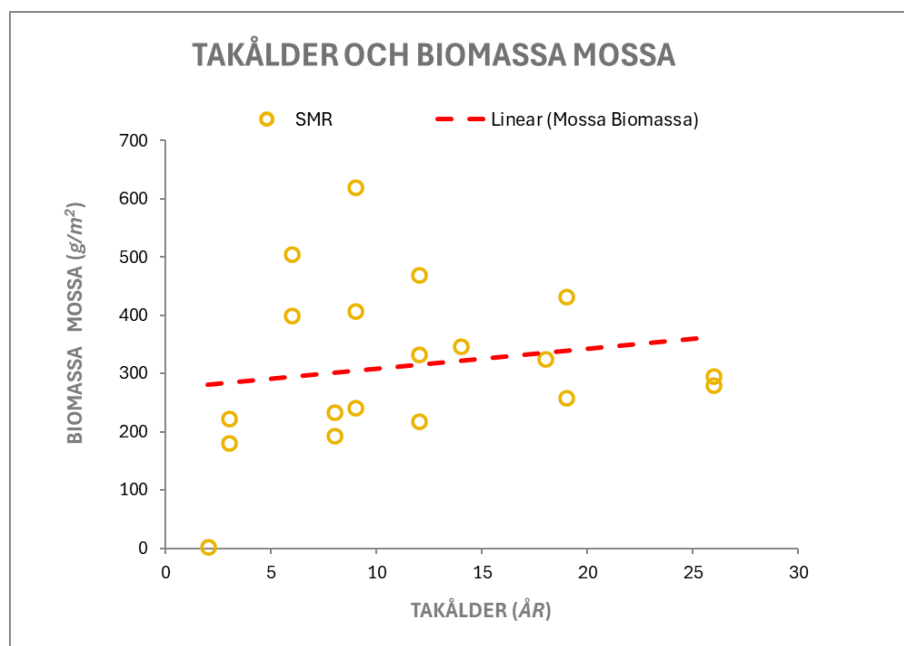
4.4.1 Ålder

Modellen verkar vara lämplig att användas enligt modellstatistiken (tabell 3) och residualer. Däremot finns inget linjärt samband mellan takålder och kärlväxters biomassa, där regressionslinjen inte indikerar någon större förändring över tid (figur 10). Nästintill alla datapunkter ligger jämnt fördelade över tidslinjen med en biomassa under 800 g/m². En datapunkt har ett anmärkningsvärt högt värde i jämförelse med övriga, vilket motiverar en närmare undersökning av detta sedumtak. P-värdet för ålder är 0,79 och R-kvadraten 0,004.



Figur 10. Illustrerar inget linjärt samband mellan takålder och kärlväxters biomassa. SMR = sedumtak. Illustration: Maarit Illikainen (2025).

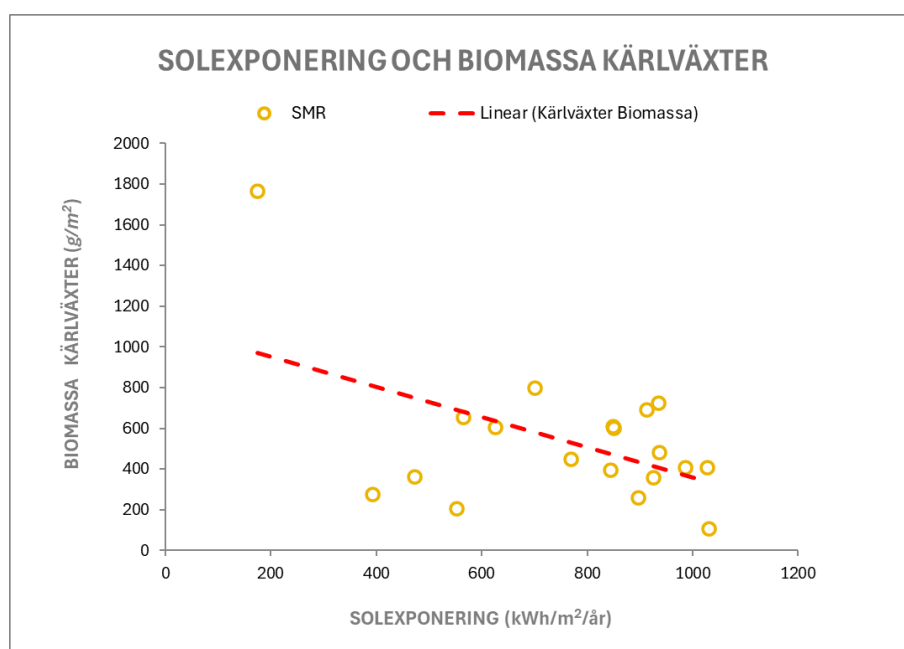
Inget tydligt linjärt samband kan fastställas mellan takålder och mossans biomassa som heller inte kan bekräftas av residualerna. Modellstatistiken indikerar att modellen inte är lämplig att användas för dessa variabler, vilket stärker antagandet om att ett linjärt samband saknas (tabell 3). Regressionslinjen antyder på en svagt uppåtgående trend, något som troligtvis är missvisande, eftersom modellen inte passar datan och datapunkterna ser ut att ha en trattlik formation (figur 11). P-värdet för ålder är 0,476 och R-kvadraten 0,03.



Figur 11. Illustrerar inget linjärt samband mellan takålder och mossans biomassa. Röd regressionslinje indikerar missvisande trend. SMR = sedumtak. Illustration: Maarit Illikainen (2025).

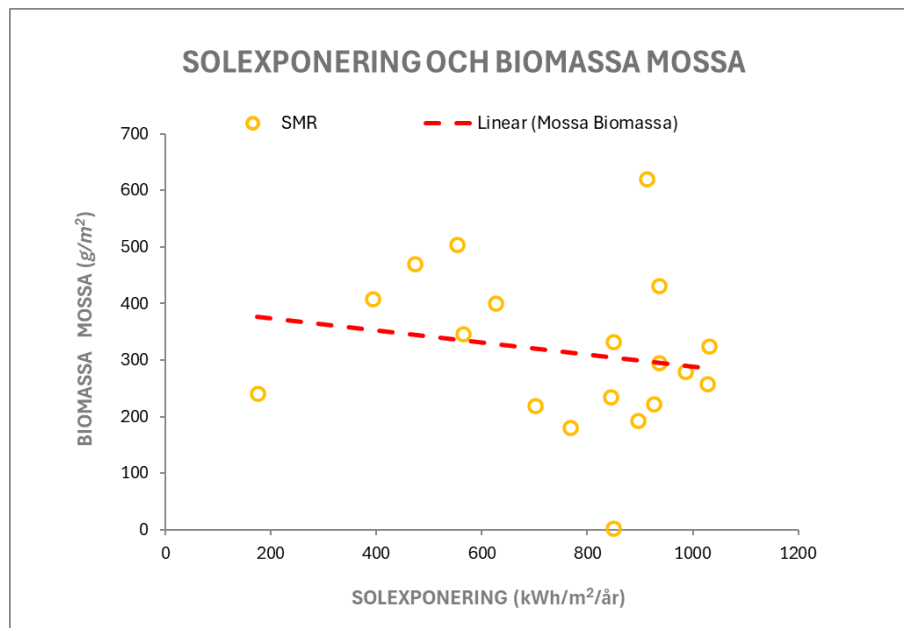
4.4.2 Solexponering och ålder

Det linjära sambandet mellan solexponering och kärlväxters biomassa är svår att tyda, även om modellstatistiken indikerar att solexponering har ett tydligt samband till biomassa (tabell 4). Utifrån residualer är relationen inte tydlig, eftersom datapunkterna inte ser ut att vara normalfördelade för de värden med lägre solexponering. Det finns däremot ett avvikande extremvärde som potentiellt kan påverka det linjära sambandet och som bör undersökas närmare (figur 12). Regressionslinjens nedåtgående trend bör därmed tolkas med viss försiktighet, även om trenden bekräftas av koefficienten för solexponering som har ett värde på -0,8159. P-värdet för solexponering är 0,0291, signifikant F-värdet 0,0831 och justerad R-kvadrat 0,176. Vad gäller takålder så finns det inga indikationer på ett linjärt samband med kärlväxters biomassa. P-värdet för ålder är 0,568 efter multipel regression.



Figur 12. Illustrerar ett otydligt samband mellan solexponering och kärlväxters biomassa. SMR = sedumtak. Illustration: Maarit Illikainen (2025).

Inget linjärt samband finns heller mellan solexponering och mossas biomassa, vilket bekräftas av modellstatistiken (tabell 4) och residualer. Dessa värden indikerar även att en linjär modell inte är lämplig att användas för dessa variabler och den avtagande regressionslinjen är därmed missvisande. Ett par avvikande extremvärden kan däremot noteras och dessa kan potentiellt påverka det linjära sambandet, vilket motiverar en närmare undersökning av dessa datapunkter (figur 13). P-värdet för solexponering är 0,2801, signifikant F-värdet 0,4285 och justerad R-kvadrat 0,101. Det finns heller inga indikationer på ett linjärt samband mellan takålder och kärlväxters biomassa, där P-värdet för ålder är 0,2924 efter multipel regression.



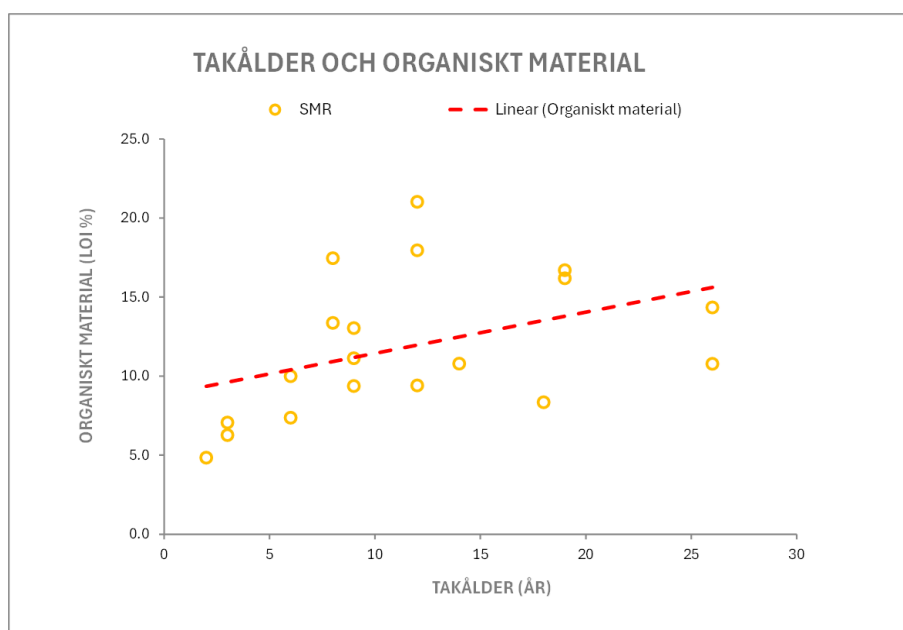
Figur 13. Illustrerar inget linjärt samband mellan solexponering och mossas biomassa. Röd regressionslinje indikerar en missvisande trend. SMR = sedumtak. Illustration: Maarit Illikainen (2025).

4.5 Organiskt material

Datan anger hur många procent organiskt material som finns i hela substratet på de studerade sedumtaken. Genomsnittligen så har fyra prover insamlats från varje tak. Halten organiskt material har sedan fastställts genom Loss On Ignition-metoden och värdet anges i procent.

4.5.1 Ålder

Inget tydligt linjärt samband verkar finnas mellan takålder och organiskt material. Utifrån residualer och modellstatistik (tabell 3) så indikeras att modellen inte är lämplig att användas för dessa variabler. Regressionslinjen antyder på en uppåtgående trend, men är troligtvis missvisande (figur 14). P-värdet för ålder är 0,075 och R-kvadraten 0,174.



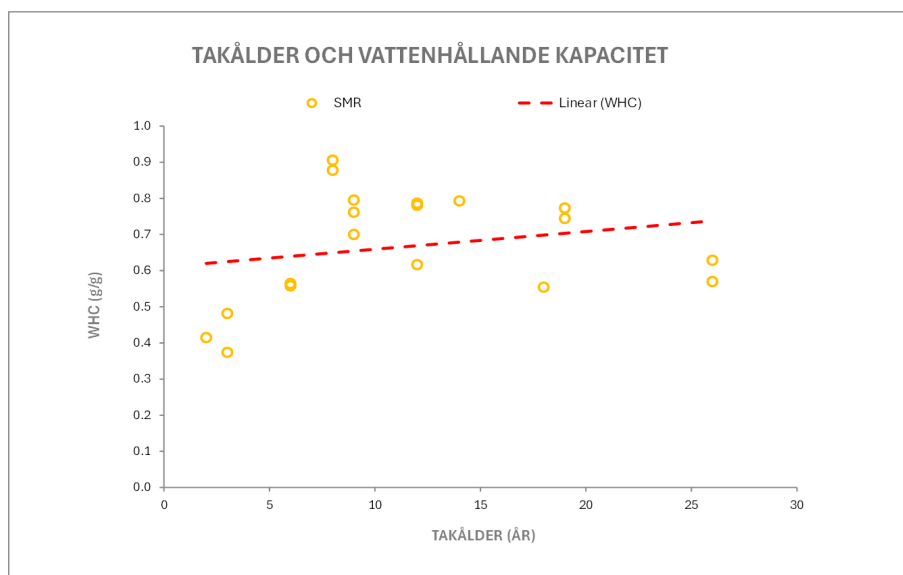
Figur 14. Illustrerar inget linjärt samband mellan takålder och organiskt material. Röd regressionslinje indikerar på en missvisande trend. SMR = sedumtak.
Illustration: Maarit Illikainen (2025).

4.6 Vattenhållande kapacitet

Fältkapacitet har uppmätts på torkade jordprover för att ta reda på substratets vattenhållande kapacitet. Anges enligt gram vatten per gram substrat.

4.6.1 Ålder

Inget linjärt samband finns mellan takålder och organiskt material. Modellen ser inte ut att vara lämplig att använda för dessa variabler, vilket bekräftas av modellstatistik (tabell 3) och residualer. Regressionslinjen antyder på en uppåtgående trend, men är troligtvis missvisande (figur 15). P-värdet för ålder är 0,346 och R-kvadraten 0,052.



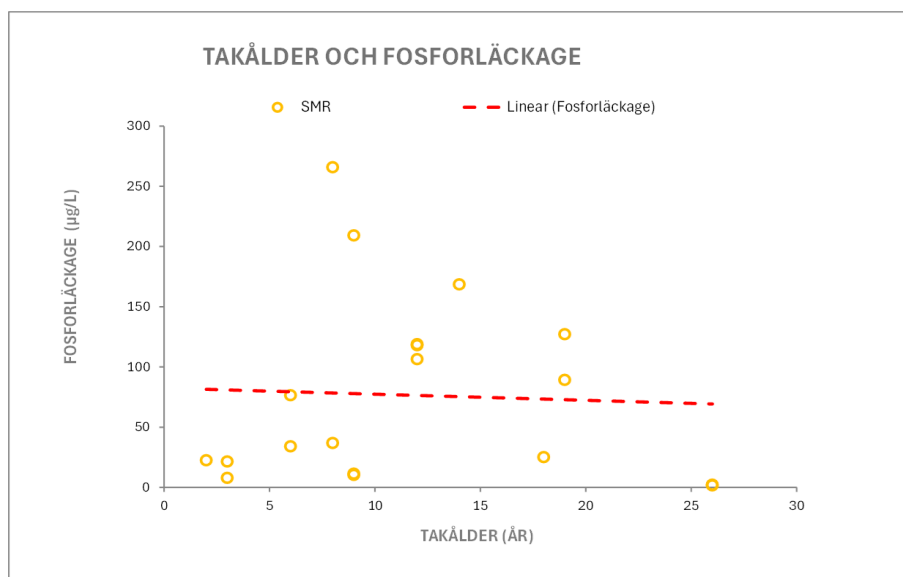
Figur 15. Illustrerar inget linjärt samband mellan takålder och vattenhållande kapacitet. Röd regressionslinje indikerar på en missvisande trend. SMR = sedumtak, WHC = Water holding capacity. Illustration: Maarit Illikainen (2025).

4.7 Näringsläckage

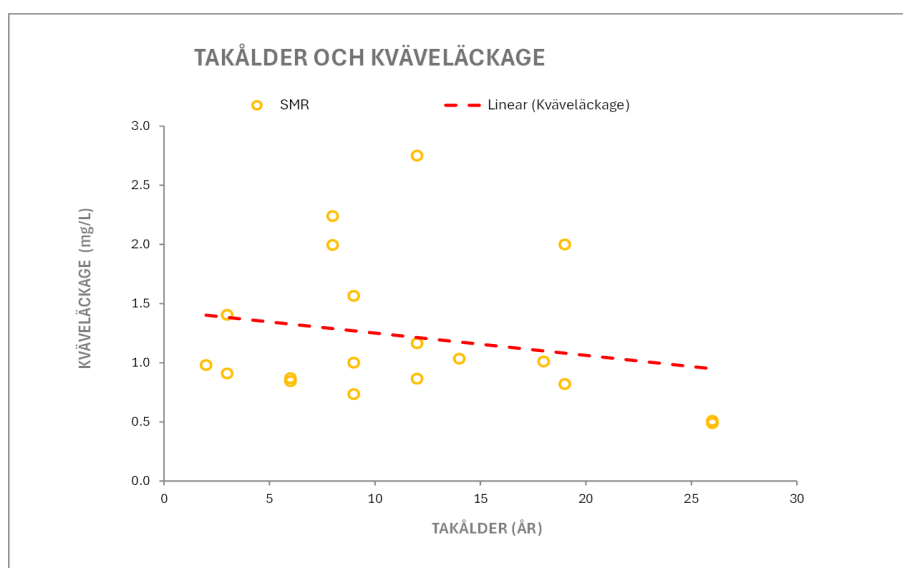
Datan anger den totala koncentrationen av fosfor och löst kväve i avrinningsvattnet. De beräknas som ett medelvärde från två provtagningstillfällen under 2021, varav ett i maj och ett i oktober. Anges som $\mu\text{g/l}$.

4.7.1 Ålder

Inget linjärt samband kan ses mellan takålder och fosforläckage. Både residualer och modellstatistik (tabell 3) indikerar tydligt att modellen inte är lämpad för denna variabel. Regressionslinjen antyder inte någon förändring över tid, men bör oavsett betraktas med varsamhet då ett linjärt samband inte verkar finnas (figur 16). P-värdet för ålder är 0,848 och R-kvadraten 0,002. Samma utvärdering gäller för kväveläckage och ålder, där P-värdet är 0,369 och R-kvadraten 0,048.



Figur 16. Illustrerar inget linjärt samband mellan takålder och fosforläckage. Röd regressionslinje indikerar på en missvisande trend. SMR = sedumtak. Illustration: Maarit Illikainen (2025).



Figur 17. Illustrerar inget linjärt samband mellan takålder och kväveläckage. Röd regressionslinje indikerar på en missvisande trend. SMR = sedumtak. Illustration: Maarit Illikainen (2025).

5. Diskussion

Ur de statistiska analyserna kunde tre huvudsakliga resultat utläsas. I detta kapitel diskuteras vilka samband som kan ligga till grund för dessa resultat (tabell 3 och 4). Vidare görs en koppling till sedumtakens förmåga att leverera stödjande och reglerande ekosystemtjänster och huruvida det sker en förändring med ålder. För översiktsbild av sambanden mellan indikatorer och ekosystemtjänster, se tabell 1.

5.1 Indikatorer med ett linjärt samband till antingen takålder eller solexponering

5.1.1 Artrikedom av kärlväxter

Det verkar finnas ett svagt linjärt samband mellan takålder och kärlväxters artrikedom vid enkel linjär regression, där artrikedomen ser ut att avta med ökad ålder. Sambandet bör tolkas varsamt och som en trend, eftersom både P-värde och R-kvadraten indikerar på ett svagt samband. Vid multipel linjär regression förändras utfallet och det går inte längre att tyda ett linjärt samband mellan ålder och artrikedom. Något som troligtvis orsakas av att solexponering inkluderas som en förklarande variabel och denna visar på ett starkare samband med artrikedom, vilket gör att ålder får en lägre statistisk signifikans. Ju fler variabler som beaktas i en multipel regressionsmodell, desto mer komplicerad blir modellen och utfallet kan även bli ett helt annat än vid enkel regressionsanalys.

Som tidigare nämnt så finns det ett tydligt samband mellan solexponering och kärlväxters artrikedom med en avtagande trend. Liknande samband bekräftas av Carlisle & Piana (2015) som i sin studie på sedumtak fann att hög solexponering ledde till minskad artrikedom, där berörda tak fick över 10 soltimmar om dagen. Andra abiotiska faktorer kan däremot också inverka på hur artrikedom utvecklas över tid. Solexponering kan exempelvis ha en effekt på vegetationens produktivitet genom att förändra mängden växttillgänglig vätska i substratet, men även genom att växternas förmåga att fotosyntetisera kan avta. Det är därför viktigt att sätta resultatet i en större kontext för att kunna utesluta andra variabler som kan påverka utfallet.

Gällande artrikedom i förhållande till ålder har en tidigare studie observerat att artrikedom sjunker markant över tid på gröna tak med substratdjup på 8 respektive 12 cm (Rowe 2015). Av åtta ursprungligen planterade arter återstod endast tre stycken efter 9 år, nämligen *Sedum acre*, *Sedum album* och *Allium cernuum*. I studien konstateras att en variation i mikroklimat på ytan skulle kunna gynna artrikedomen. Detta bekräftas av flera studier som observerar att äldre extensiva tak ofta domineras av ett par sedumarter, någon ört och en eller två mossarter (Rowe 2015). En annan studie visar att substratdjup kan bli tunnare med ålder, vilket kan göra gröna tak mer ogästvänliga för kärlväxter och försvaga dess artrikedom (Gabrych et al. 2019). Substratdjup är något som inte tas i beaktning i detta arbete, men som utifrån tidigare studier är relevant att studera i förhållande till förändringar i artrikedom.

Minskad artrikedom indikerar en negativ påverkan på ekosystemtjänsterna biologisk mångfald (Cook-Patton 2015) och pollinering. Pollinerare uppehåller sig på gröna tak för skydd och insamling av föda, dock minskar närvaron ju högre beläget det gröna taket är (Underwood, Sookhan, Hung, Macivor 2025). Takhöjd på studerade sedumtak är därför också relevant att ta i beaktning för att undersöka hur pollinering påverkas av en förändrad artrikedom.

5.1.2 Vegetationstäckning av kärlväxter

Det verkar finnas ett tydligt linjärt samband mellan takålder och vegetationstäckning av kärlväxter med en avtagande trend. Relationen mellan dessa är även påtaglig när solexponering inkluderas som en till förklarande variabel vid multipel regressionsanalys. Sambandet försvagas något av att sättas i relation till solexponering, men P-värdet för ålder överstiger aldrig 0.05 och är därmed fortsatt signifikant. Vegetationstäckning av kärlväxter visar på ett avtagande med ålder där de tre yngsta sedumtaken har en mer omfattande täckningsgrad av kärlväxter i jämförelse med de äldsta. I figur 3 förtydligas denna skillnad mellan äldre och yngre tak. I tidigare studier har resultaten varit varierande för hur vegetationstäckning förändras över tid, vilket till stor del verkar beror på växtplatsens förutsättningar och vilken vegetation som finns (Gabrych et al. 2019). Karga förhållanden med hög solexponering, torka och stark taklutning (Rowe 2015) verkar leda till att utbredningen av vegetation avtar med ökad ålder, något som ser ut att korrelera med de sedumtak som har studerats i denna studie.

I figur 3 finns det även indikationer på en annan tendens, men denna bör tolkas varsamt. Det är nämligen att det verkar vara möjligt för mossor och kärlväxter att ha en markant utbredning samtidigt, eftersom en ökning av mossor inte nödvändigtvis ser ut att innebära en utkonkurrering av kärlväxter. Med ökad takålder verkar både mossor och kärlväxter avta så att den totala vegetationstäckningen minskar som följd. Andra studier tyder däremot på en annan utveckling över tid, där mossor sprider sig mer på extensiva sedumtak och blir den dominerande vegetationen efter ungefär 4 år (Gabrych et al. 2019). Förändringar i näringstillgänglighet och djupare substratdjup kan vara bidragande faktorer till att sedum konkurreras ut av andra växtarter. Att använda inhemska sedumarter och tunnare substratdjup på max 5 cm kan motverka ett avtagande (ibid).

Inget linjärt samband kunde utrönas mellan solexponering och vegetationstäckning av kärlväxter. Resultatet kan bero på att det delvis enbart finns totalt fem sedumtak i studien som har en solexponering under 600 kwh/m²/år, där tre av dessa har relativt låga värden för vegetationstäckning av kärlväxter. Även de tre yngsta taken som är 2-3 år gamla och har en relativt hög solexponering (mellan 800-1000 kwh/m²/år) försvagar sambandet, eftersom mossor ännu inte har hunnit etablera sig på dessa. Carlisle och Piana (2015) har genomfört studier som indikerade att sedumtak med hög solexponering har en avtagande effekt på vegetationstäckning. Rowe (2015) observerade istället att vegetationstäckning utvecklas i högre grad på de norra och därmed mer skuggade delarna av ett grönt tak. *Sedum* klarar sig bäst av alla studerade växter, även på tak i soligt söderläge, tack vare sin torktålighet. Det skulle kunna förklara varför våra sedumtak inte visar ett samband mellan solexponering och vegetationstäckning av kärlväxter.

Med bakgrund av den effekt som vegetationstäckning kan ha på ekosystemtjänster (se 2.4.2) dras här slutsatsen att en ökad ålder på sedumtak indikerar en negativ påverkan på tjänsterna biologisk mångfald, erosionsskydd och reglering av lokalklimat. Dagvattenhanteringen väntas dock inte påverkas märkbart eftersom den vattenhållande förmågan inte skiljer sig mycket mellan sedumtak och barmark på gröna tak (Lambrinos 2015).

5.2 Indikatorer med ett icke-linjärt samband till takålder

5.2.1 Mossans biomassa och vegetationstäckning på sedumtak

Biomassa av mossor kan vid första anblick se ut att ha en svagt uppåtgående och linjär trend i förhållande till sedumtakens ålder, men sambandet bekräftas inte av resultatets statistiska värden i tabell 3. Detta är ett bra exempel på vilka svårigheter det finns vid analys av resultat från linjär regression och hur viktigt det är att sätta regressionslinjen i en större kontext för att undvika missvisande resultat. Vid närmare granskning av figur 11 är det exempelvis tydligt att sedumtak mellan åldrarna 0-10 år har en begynnande ökning i biomassa som sedan avtar markant och kurvan verkar plana ut när sedumtak blir äldre än 15 år. Denna beskrivning av biomassans förändring med ökad takålder indikerar att det snarare finns ett logaritmiskt samband än ett linjärt och att en annan statistisk modell borde användas. Studier tyder däremot på en annan utveckling över tid, där mossor sprider sig mer på extensiva sedumtak och blir den dominerande vegetationen efter ungefär 4 år (Gabrych et al. 2019)

Otydligheten vid avläsning kommer främst från det faktum att det finns ett fåtal sedumtak som gör att kurvan uppfattas som icke-linjär, vilket leder till frågetecken om varför dessa datapunkter avviker från den beräknade regressionslinjen. Finns det en naturlig förklaring till variationen för den lägsta och högsta punkten? Och varför avtar biomassan för mossor på de två äldsta taken? Utifrån rådatan går det att utvärdera att de två äldsta taken har utsatta förhållanden med hög solexponering och relativt brant lutning. Från figur 3 kan vi även se att andelen barmark är högre än på övriga sedumtak. Dessa faktorer kan vara en potentiell förklaring till varför de äldsta sedumtaken bidrar till att kurvan för biomassa får en avtagande tendens, eftersom platsförhållandena verkar mindre gynnsamma för tillväxt. Sedumtaket med lägst andel biomassa av mossor är också det yngsta, vilket är logiskt eftersom *Sedum* är dominerande vid anläggning och det kan dröja ett par år innan det sker en påtaglig etablering av mossor på unga tak. Gällande det högsta värdet är det svårt att hitta en naturlig anledning till varför biomassan avviker från övriga. Sedumtaket har en hög vegetationstäckning av mossor, vilket indikerar att det finns ett möjligt samband mellan dessa.

Vid enkel regressionsanalys mellan takålder och vegetationstäckning av mossor kan ett svagt samband tydas. Dock är det tydligt icke-linjär, där sambandet först ökar stadigt och avtar när sedumtaken uppnått en ålder på ca 15 år, precis som för mossans biomassa. Att båda responsvariablerna får snarlika utfall både vid enkel och multipel linjär regression stärker ovanstående iakttagelse om ett samband mellan mossans utbredning och dess biomassa. Om

mossa inte förekommer i det extensiva vegetationssystemet, så kan inte heller biomassa av mossa ackumuleras. Den icke-linjära kurvan för mossans vegetationstäckning där mossan ser ut att avta med ökad ålder knyter även an till den tendens som tidigare påtalats i kapitel 5.1.2.

Inget signifikant samband kunde utrönas efter genomförd multipel linjär regressionsanalys på båda responsvariabler, förutom mellan takålder och vegetationstäckning av mossa. Där anges takålder ha en större betydelse än solexponering enligt P-värdet och justerad R-kvadrat. Vid avläsning av koefficienten skulle sambandet vara en uppåtgående trend som troligtvis inte är linjär, i likhet med utfallet från den enkla linjära modelleringen. Om värdena i tabell 3 och 4 jämförs med varandra, så går det att se att sambandet har förstärkts efter att solexponering inkluderades som en förklarande variabel i ekvationen. Även om enkel och multipel linjär regression verkar vara tämligen lika i sin ekvation, så påvisar denna förändring i värde att sambandet mellan variabler inte kan förväntas vara konstant när flera förklarande variabler adderas till beräkningarna. Det gäller oavsett vad korrelationen blir mellan denna variabel och responsvariabeln.

Då studien har genomfört en linjär regression och sambanden verkar icke-linjära, så behöver förhållandet mellan berörda variabler analyseras med en modell som inte är linjär. Utan en sådan modellering är det svårt att dra slutsatser kring hur indikatorerna påverkas av ålder och solexponering på sedumtak och dess förmåga att leverera stödjande och reglerande ekosystemtjänster.

5.2.2 Organiskt material

Vid granskning av sambandet mellan takålder och organiskt material (figur 14), så verkar det som om halten organiskt material ökar markant för att sedan sjunka för tak som är äldre än 15 år. Det ser därmed ut att finnas ett samband dem emellan, men förändringen över tid ser ut att ha en mer logaritmisk tendens än en linjär. Statistiken i tabell 3 bekräftar också att det finns ett svagt samband, eftersom P-värdet är lågt. Modellen är dock inte perfekt utifrån R-kvadraten och en icke-linjär modell verkar därför mer lämplig att använda för att närmare kunna undersöka sambandet mellan ålder och organiskt material.

Precis som för kapitel 5.2.1 så kan inte ett antagande ske om hur organiskt material påverkas av ålder på sedumtak, samt hur det inverkar på förmågan att leverera stödjande och reglerande ekosystemtjänster.

5.3 Indikatorer utan samband till takålder och solexponering

5.3.1 Biomassa av kärlväxter

I denna analys fungerar den linjära modellen, men det finns varken ett linjärt eller ett icke-linjärt samband mellan takålder och kärlväxternas biomassa. Det är något som tydligt illustreras av regressionslinjen, eftersom lutningen varken är uppåt- eller nedåtgående. Istället distribueras nästan alla datapunkter jämnt och horisontellt utmed diagrammets x-axel. P-värde indikerar också tydligt att ett samband saknas, medan R-kvadraten antyder att modellen inte passar (tabell 3) vilket kan påverkas av det avvikande extremvärdet (figur 10). Extremvärdet i fråga är en återkommande kontrast till övriga sedumtak, vilket troligtvis beror på att det specifika taket har märkbart låg solexponering (ca 174 kwh/m²/år) och höga värden vad gäller kärlväxters artrikedom, vegetationstäckning och biomassa.

Extremvärdet kan även indikera att det finns fler variabler att ta i beaktning för att tydliggöra ett samband, såsom solexponering. Därmed genomfördes en multipel linjär regressionsanalys med solexponering, även om det första resultatet inte gav ett samband. Vid denna analys så verkar det finnas ett samband mellan solexponering och kärlväxters biomassa, där P-värdet indikerar att solexponering har en större signifikans än ålder i modellen. Samma mönster med avvikande datapunkter kan kopplas till kapitel 5.1.2 och berör de fem sedumtak i studien som har en solexponering under 600 kwh/m²/år. Ett av dessa som har lägst solexponering har höga värden för kärlväxters biomassa, vegetationstäckning och artrikedom, medan tre andra skuggiga tak har låga värden i både kärlväxters biomassa och vegetationstäckning. Det stärker tesen om att det finns en korrelation mellan vegetationstäckning och biomassa.

Det finns få vetenskapliga studier kring hur, men det finns ett par som indikerar att äldre grästak verkar ha ett samband mellan ålder och biomassa med en avtagande trend. En annan studie finner ett samband mellan biomassa och substratdjup, där *Sedum* producerar mer biomassa vid 6 cm än vid tunnare substrat (Rowe 2015). Vidare studier skulle därför kunna undersöka saken närmare, kanske med avstamp i den intressanta kontrast som observerades i de avvikande taken. Vad är korrelationen mellan biomassa och vegetationstäckning? Hur skiljer sig typerna av biomassa? Har mycket skuggade tak högre mängd biomassa än mindre skuggade tak? Finns andra oberoende variabler som påverkar kärlväxternas biomassa?

Eftersom ingen förändring i biomassa av kärlväxter kan observeras med ålder indikerar det att ekosystemtjänsterna är opåverkade.

5.3.2 Vattenhållande kapacitet och näringsläckage

Det finns inget linjärt samband mellan takålder och vattenhållande kapacitet. Det är något som även bekräftas visuellt vid en närmare titt på utfallets spridningsdiagram (figur 15), där den vattenhållande kapaciteten ser ut att öka markant för att sedan avta på sedumtak som är äldre än 10 år. Även om det också finns en jämn fördelning av datapunkter ovanför och under regressionslinjen, så är de flesta sedumtak ovanför linjen i ett kluster mellan åldersspannet 10-15

år. Dessa mönster indikerar på att den linjära modellen inte passar här och att sambandet istället bör undersökas med en annan modell.

Näringsläckage visade sig inte ha något samband till takålder eller solexponering, varken gällande kväve eller fosfor. Datan passade inte heller modellen. Att samband saknas kan bero på faktorer mer komplexa än vad detta arbete omfattar och motiverar vidare studier på ämnet. Gröna tak anläggs med ett överflöd av näring och förväntas läcka en del därefter. En studie visar att fosforläckage kan minska över tid på gröna tak. Den näringshållande förmågan kan nämligen öka i förhållande till vegetativ etablering (Buffam & Mitchell 2015).

Utifrån resultaten för både vattenhållande kapacitet och näringsläckage så kan vi varken se indikatorer som ger en positiv eller negativ påverkan på de ekosystemtjänster som tillhandahålls av sedumtaken.

5.4 Metoddiskussion

5.4.1 Den linjära regressionsmodellen

För att använda en linjär regressionsmodell, så behöver vissa kriterier uppfyllas för att modellen ska vara statistiskt signifikant att använda (Pardoe 2020a:69). Om dessa kriterier inte uppfylls så kan detta bero på att sambandet inte finns mellan responsvariabler och förklarande variabler eller att sambandet inte är linjärt. Då behöver en annan modell användas som är bättre lämpad för sambandets karaktär, exempelvis logaritmisk eller exponentiell (ibid). I denna studie har både material och metodval utgått från hur andra statistiska analyser genomförts inom det forskningsprojekt som arbetet samarbetar med. Detta innebär att författarna inte har genomfört några analyserande tester från början för att utvärdera vilken statistisk metod som är bäst lämpad för att analysera datan, vilket möjligen har bidragit till att många av studiens utfall inte visar ett linjärt samband.

5.4.2 Data - styrkor och svagheter

Vad gällande den använda datan så finns det både för- och nackdelar. Om vi ser till materialets styrkor, så är de studerade sedumtaken en kronosekvens av varandra. Detta innebär att det finns likheter i hur dessa har etablerats från början. Både vad gäller exempelvis substratdjup, vegetation och uppbyggnad. Det har heller inte utförts någon skötsel eller gödsling på dessa tak. Det finns variationer i exempelvis taklutning, solexponering, takhöjd, area och väderstreck. Den huvudsakliga skillnaden är att det finns ett flertal tak i olika åldrar som är av stort intresse för att kunna undersöka hur ekosystemtjänster på sedumtak påverkas över tid. Det finns få äldre tak som är en kronosekvens, vilket är av stort värde för denna studie.

Svagheter med datan är att både yngsta och äldsta sedumtaken är relativt homogena i sina egenskaper, där de äldsta dessutom har väldigt karga förhållanden med hög taklutning och

solexponering. Totalt finns det också fem sedumtak som har en solexponering under 600 kWh/m²/år, vilket kan ha påverkat sambandet i förhållande till solexponering. En annan aspekt är att det i studien sker ett antagande om att solexponering inte förändras över tid, vilket inte nödvändigtvis behöver vara korrekt. Speciellt för sedumtak med en relativt låg takhöjd, där omkringliggande vegetation kan skugga taket över tid. Studien saknar även information om faktorer för varje plats som kan ge en indikation om huruvida särskilda mikroklimat kan uppstå för respektive tak, som påverkar förhållanden kring till exempel temperatur på taket.

5.5 Hållbarhetsperspektiv och etiska dilemman

5.5.1 Gröna tak som verktyg vid klimatanpassning

I och med den globala uppvärmningen finns ett behov av att anpassa våra samhällen med hållbara lösningar till ett förändrat klimat (Naturvårdsverket 2024). I ljuset av denna studie, som vill bidra till forskningen kring hållbarheten av gröna tak, görs här en reflektion över problem och dilemman som kan uppstå.

Gröna tak kan vara ett användbart verktyg för klimatanpassning. Ekosystemtjänsterna som tillhandahålls från taken kan bland annat bidra till en kylande effekt av stadens byggnader och gator (McGuire et al. 2015), minska risken för översvämningar och ge bättre luftkvalitet. Sedumtak är dock inte den taktyp som bidrar med flest ekosystemtjänster, jämfört med gröna tak med djupare substrat och högre vegetation (Lundholm & Williams 2015). Gröna tak visar potential att vara hållbara men fler studier över längre tidsperioder behövs för att kunna dra en tydlig slutsats (Gabrych et al. 2019).

Ett problem som kan uppstå i samband med gröna tak är näringsläckage som påverkar nedströms ekosystem negativt (Buffam & Mitchell 2015). En annan utmaning är att arter som kan användas på sedumtak har hög riskklassning i Sverige och därmed utgör ett stort hot mot den inhemska biologiska mångfalden i de naturtyper de förekommer. Dessa arter är redan etablerade i Sverige och heter *Phedimus hybridus* (sibiriskt fetblad), *Phedimus spurius* (kaukasisk fetblad) *Sedum hispanicum* (blek fetknopp) och *Sedum lydium* (lydisk fetknopp) (Strand, Aronsson, Svensson 2018, s. 33-35).

Denna negativa påverkan på ekosystemen kan ses ur ett etiskt perspektiv. Är det rätt att låta sådana processer fortgå? En annan etisk fråga berör greenwashing, av Europaparlamentet (2024) definierat ”att ge en felaktig bild av en produkts miljöpåverkan eller fördelar, som kan vilseleda konsumenterna”. Studier visar att gröna tak kan ha greenwashing-karaktär i den bemärkelse att de ibland anläggs, inte i syfte att förbättra miljö och klimat, utan för att möta en policy om att till exempel ha en viss mängd grönyta i staden (Michalik-Sniezek & Adamczyk-Mucha 2024). Är det försvarbart att försöka göra ”vinna poäng” i teorin, hellre än att försöka påverka sin närmiljö medvetet och positivt? Likaså kan man fråga sig om det är rätt att skapa en falsk bild av de klimatanpassningar gröna tak ska bidra med om de inte håller måttet och verkligen levererar.

Denna studie kan bidra till en ökad förståelse för hur gröna tak förändras med ålder och därmed även vad de kan leverera över tid.

Under etiska dilemman faller även socioekonomiska faktorer. En studie i Hong Kong visar på bristande social jämlikhet där låg- och medelklassområden fick minimalt med gröna tak jämfört med överklassområden (Ling et al. 2024). Om gröna tak främst anläggs i områden där det finns kapital och politiskt intresse att investera i klimatanpassade lösningar är det ett etiskt problem som behöver tas itu med.

6. Slutsats

Som slutsats har studiens statistiska analys resulterat i tre framträdande utfall som indikerar på att undersökta responsvariabler antingen: 1) har ett linjärt samband till takålder eller solexponering, 2) har ett icke-linjärt samband till takålder eller 3) inte har något samband till varken takålder och solexponering. Det tydligaste linjära sambandet i detta arbete var mellan artrikedom av kärlväxter och solexponering. Resultatet visar på en minskning i artrikedom med ökad solexponering, något som även bekräftas av tidigare studier (Carlisle & Piana 2015). Även vegetationstäckning av kärlväxter och takålder indikerar att det finns ett linjärt samband, där kärlväxter ser ut att avta med ökad ålder. I tidigare studier har istället resultaten varit varierande (Gabrych et al. 2019), där typ av grönt tak troligtvis spelar en stor roll för hur vegetationstäckningen utvecklas över tid. Mer karga förhållanden med hög solexponering, torka och stark taklutning (Rowe 2015) verkar dock överlag leda till minskad vegetationstäckning. Det här är något som står i kontrast till resultaten från denna studie, där analysen mellan solexponering och vegetationstäckning av kärlväxter inte indikerade på något linjärt samband. Avsaknaden av samband skulle potentiellt kunna förklaras av att vi studerar sedumtak, då *Sedum* generellt påverkas mindre av solexponering och torka än andra takväxter.

Vad gäller sedumtakens förmåga att leverera ekosystemtjänster med ökad takålder och solexponering så kan enbart indikatorer som påvisar ett linjärt samband utvärderas. Exempelvis kan minskad artrikedom på sedumtak leda till att ekosystemtjänster såsom biologisk mångfald, pollinering och reglering av skadedjur påverkas negativt på sikt. Om vegetationstäckning av kärlväxter avtar till en sådan grad att barmark blir ett dominerande inslag, så kan viktiga funktioner såsom biologisk mångfald, erosionsskydd och reglering av lokalklimat försämrats. Om däremot mossor kan etablera sig över ytan så kan de negativa effekterna för mildras.

Andra resultat som inte visade på ett linjärt samband, gav antingen indikationer på att det fanns ett icke-linjärt samband till en förklarande variabel eller att det inte fanns ett samband överhuvudtaget. Här hade datan antingen kunnat bearbetas genom transformation eller normalisering för att uppnå de kriterier som krävs för att använda en linjär regressionsmodell eller så hade en annan icke-linjär modell varit bättre lämpad för att vidare kunna studera ett potentiellt samband.

Även om en del av resultaten sammanfaller med andra resultat från tidigare studier, så är de unika på så sätt att utvalda variabler inte tidigare ställts mot varandra inom forskningsprojektet och för dessa specifika sedumtak. Som tidigare nämnt så finns det få studier som har undersökt hur gröna tak förändras över tid och därför behövs det fler liknande studier för att vedertagna antaganden ska kunna fastställas om hur gröna tak påverkas av ålder och solexponering.

6.1 Förslag på vidare studier

- Studier av datan med utrymme att bearbeta data eller använda sig av fler statistiska modeller, eftersom viss data inte passade den linjära regressionsmodellen.
- Resultaten hade vissa avvikande extremvärden som ibland kunde förklaras och ibland inte. En slutsats är dock att en större variation av sedumtak, framförallt med lägre solexponering, skulle kunna bidra till förbättrade resultat. Även fler unga och äldre tak skulle kunna ge starkare indikationer på hur sedumtaken ter sig över tid.
- Vegetationstäckning av kärlväxter kan påverkas av fler faktorer som inte beaktats i detta arbete. Ett förslag på vidare studier är att undersöka mikroklimatet på platsen i mer detalj för att ta reda på ytterligare orsaker till vegetationstäckningens förändringar.
- Studier på enskilda tak över tid skulle ge insikt om den unika platsens förutsättningar och hur de påverkar takets utveckling.
- Studier på hur artrikedomen på sedumtak skulle påverkas av fler mindre mikroklimat på ytan.

Referenser

- Blanusa, T., Vaz Monteiro, M., Kemp, S., Cameron, R. (2016). Planting choices for retrofitter roofs. I: Dixon, T., Wilkinson, S. (red). *Green roof retrofit: Building urban resilience*. John Wiley & Sons, Ltd, s.118-140.
- Boverket (2010). Låt staden grönska - *klimatanpassning genom grönstruktur*.
<https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2010/lat-staden-gronska.pdf>. [2025-03-19]
- Boverket (2023a). *Ekosystemtjänster - i den byggda miljön*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/ekosystemtjanster/> [2025-02-21]
- Boverket (2023b). *Olika grupper av ekosystemtjänster*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/ekosystemtjanster/olika-grupper-av-ekosystemtjanster/> [2025-02-21]
- Boverket (2023c). *Reglerande ekosystemtjänster*.
<https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/planeringsfragor/ekosystemtjanster/olika-typer-av-ekosystemtjanster/reglerande-ekosystemtjanster/> [2025-02-21]
- Boverket (2023d). *Stödjande ekosystemtjänster*.
<https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/planeringsfragor/ekosystemtjanster/olika-typer-av-ekosystemtjanster/stodjande-ekosystemtjanster/> [2025-03-04]
- Buffam, I., Mitchell, M.E. (2015). Nutrient cycling in green roof ecosystems. I: Sutton, R.K. (red.) *Green roof ecosystems*. Springer, s.107-137.
- Carlisle, S., Piana, M. (2015). Green roof plant assemblage and dynamics. I: Sutton, R.K. (red.) *Green roof ecosystems*. Springer, s. 285-310.
- CID Bio-science (2022). *What is biomass accumulation?*
<https://cid-inc.com/blog/what-factors-affect-biomass-accumulation-in-plants/> [2025-03-10]
- Cook-Patton, S.C. (2015). Plant biodiversity on green roofs. I: Sutton, R.K. (red.) *Green roof ecosystems*. Springer, s. 193-209.
- Dixon, T., Wilkinson, S. (2016). Building resilience in urban settlements through green roof retrofit. I: Dixon, T., Wilkinson, S. (red.). *Green roof retrofit: Building urban resilience*. John Wiley & Sons, Ltd, s. 1-12.
- Dunnett, N. (2015) Ruderal green roofs. I: Sutton, R.K. (red.) *Green roof ecosystems*. Springer, s. 193-209.

- Dunster, K., Coffman, R.R. (2015). Placing green roofs in time and space: scale, recruitment, establishment and regeneration. I: Sutton, R.K. (red). *Green roof ecosystems*. Springer, s. 357-390.
- Environmental Computing (2022). *Linear regression*.
<https://environmentalcomputing.net/statistics/linear-models/linear-regression/>
 [2025-03-20]
- Environmental Standards (2020). *Linear regression in environmental data analysis*.
<https://environmentalstandards.info/linear-regression-in-environmental-data-analysis/>
 [2025-03-20]
- Europaparlamentet (2024). *Stoppa greenwashing: så reglerar EU miljöpåståenden*.
<https://www.europarl.europa.eu/topics/sv/article/20240111STO16722/stoppa-greenwashing-sa-reglerar-eu-miljopastaenden> [2025-03-11]
- European Environment Agency (2024). *Green roofs in Basel, Switzerland: combining mitigation and adaptation measures*.
<https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/green-roofs-in-basel-switzerland-combining-mitigation-and-adaptation-measures-1> [2025-01-22]
- Gabrych, M., Kotze, D. J., Lehvavirta, S. (2016). Substrate depth and roof age strongly affect plant abundances on sedum-moss and meadow green roofs in Helsinki, Finland. *Ecological Engineering*. 86: 95-104. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.10.022
- Getter, K.L., Bradley Rowe, D., Cregg, B.M. (2009) Solar radiation intensity influences extensive green roof plant communities. *Urban Forestry & Urban Greening*. 8(4): 269-281. doi.org/10.1016/j.ufug.2009.06.005
- Guo, S., Clasen, L.A., Rousk, K. (2024). Short-term fate of nitrogen fixed by moss-cyanobacteria associations under different rainfall regimes. *Basic and Applied Ecology*. 79: 9-16. doi.org/10.1016/j.baae.2024.04.009
- Lambrinos, J.G. (2015). Water through green roofs. I: Sutton, R.K. (red.) *Green roof ecosystems*. Springer, s. 81-105.
- Ling, J., Yip, K.H.A., Wei, S., Sit, K.Y., Sun, L., Meng, Q., Cong, N., Lin, J., Zhang, H. (2024). Multiscale rooftop greening and its socioeconomic implications in Hong Kong. *Building and Environment*. 259, Artikel 111643.
doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111643
- Lundholm, J.T., Williams, N.S.G. (2015). Effects on vegetation on green roofs ecosystem services. I: Sutton, R.K. (red.) *Green roof ecosystems*. Springer, s. 211-232.
- MacIvor, J. S., Ksiazek, K. (2015). Invertebrates on green roofs. I: Sutton, R.K. (red.) *Green roof ecosystems*. Springer, s. 333-355.
- MacIvor, J.S., Ruttan, A., Salehi, B. (2014) Exotics on exotics: Pollen analysis of urban bees visiting Sedum on a green roof.

- McGuire, K.L., Payne, S.G., Orazi, G., Palmer, M.I. (2015). Bacteria and fungi in green roof ecosystems. I: Sutton, R.K. (red.) *Green roof ecosystems*. Springer, s. 175-191.
- Michalik-Śnieżek, M., Adamczyk-Mucha, K. (2024). Green Roofs: Nature-Based Solution or Forced Substitute for Biologically Active Areas? A Case Study of Lublin City, Poland. *Sustainability*. 16(8): 3131. doi.org/10.3390/su16083131
- Mitchell, M.E., Emilsson, T., Buffam, I. (2021). Carbon, nitrogen and phosphorus variation along a green roof chronosequence: Implications for green roof ecosystem development. *Ecological Engineering*. 164, artikel 106211. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106211
- Naturskyddsföreningen (2021). *Vattnets kretslopp och fotosyntesen*. <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/vattnets-kretslopp-och-fotosyntesen/> [2025-03-11]
- Naturvårdsverket (2024). *Vad är klimatanpassning?* <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/det-globala-kl-matarbetet/parisavtalet/vad-ar-klimatanpassning/> [2025-03-11]
- Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R.R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K.K.Y., Rowe, B. (2007). Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*, 57(10): 823-833. [doi:10.1641/B571005](https://doi.org/10.1641/B571005)
- Osmond, P., Irger, M. (2016). Green roof retrofit and the urban heat island. I: Dixon, T., Wilkinson, S. (red). *Green roof retrofit: Building urban resilience*. John Wiley & Sons, Ltd, s.37-61.
- Pardoe, I. (2020a). Simple linear regression. I: Pardoe, I. (red.) *Applied Regression Modeling*. John Wiley & Sons, Inc, s.39-94
- Pardoe, I. (2020b). Multiple linear regression. I: Pardoe, I. (red.) *Applied Regression Modeling*. John Wiley & Sons, Inc, s.95-158
- Peng, Y., Yang, J., Seabloom, E.W., Leitch, A.R., Leitch, I.J., Wang, R., Wei, C., Han, X. (2024). Nutrient effects on plant diversity loss arise from nutrient identity and decreasing niche dimension. *Ecology*. 106(1), Artikel e4496. doi.org/10.1002/ecy.4496
- Pettersson Skog, A., Malmberg, J., Emilsson, T., Jägerhök, T., Capener, C-M (2021). *Grönatakhandboken*. 2 uppl., AB Svensk Byggtjänst.
- Rau, A., Von Wehrden, H., Abson, D.J. (2018) Temporal Dynamics of Ecosystem Services. *Ecological Economics* 151: 122-130. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.05.009
- Rowe, B. (2015). Long-term rooftop plant communities. I: Sutton, R.K. (red.) *Green roof ecosystems*. Springer, s.311-332.

- Schielzeth, H. (2010). Simple means to improve interpretability of regression coefficients. *Methods in Ecology and Evolution*. 1(2): 103-113.
<https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00012.x>
- SLU (2023). *Forskning inom landskapsarkitektur*.
<https://www.slu.se/institutioner/stad-land/forskning/Landskapsarkitektur/> [2025-03-19]
- Strand, M., Aronsson, M., Svensson, M. (2018). *Klassificering av främmande arters effekter på biologisk mångfald i Sverige – ArtDatabankens risklista*. Artdatabanken Rapporterar 21. Artdatabanken SLU, Uppsala.
<https://www.slu.se/globalassets/ew/subw/artd/6-publikationer/29.-artdatabankens-risklista/klassificering-av-frammande-arter.pdf>
- Sutton, R.K. (2015). Introduction to Green Roof Ecosystems. I: Sutton, R.K. (red.) *Green roof ecosystems*. Springer, s.1-25.
- Sutton, R.K., Lambrinos, J. (2015). Green roof ecosystems: summary and synthesis. I: Sutton, R.K. (red.) *Green roof ecosystems*. Springer, s.423-440.
- Thuring, C.E., Dunnett, N. (2014). Vegetation composition of old extensive green roofs (from 1980s Germany). *Ecological Processes* 3(1):4. doi.org/10.1186/2192-1709-3-4
- Underwood, S.M., Sookhan, N., Hung, K.L.J., Macivor, J.S. (2025). Pollinator visits increase with bloom amount but decline with building height on extensive green roofs. *Insect Conservation and Diversity*, 3 januari. doi.org/10.1111/icad.12806
- Walker, L.W., Wardle, D.A., Bardgett, R.D., Clarkson, B.D. (2010). The use of chronosequence in studies of ecological succession and soil development. *Journal of Ecology*, 98: 725–736. doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01664.x
- Wilkinson, S., Castigliata Feitosa, R. (2016). Thermal performance of green roof retrofit. I: Dixon, T., Wilkinson, S. (red.) *Green roof retrofit: Building urban resilience*. John Wiley & Sons, Ltd, s.62-84.
- Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N.J., Saveliev, A.A., Smith, G.M. (2009). Limitations of linear regression applied on ecological data. I: Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N.J., Saveliev, A.A., Smith, G.M. (red.) *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer Science+Business Media, LLC, s. 11-33