



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser
och jordbruksvetenskap



Urbana kolsänkor

– Utformning av kolinlagrande vegetationsytor i staden

Emelie Andersson

Examensarbete • 30 hp

Landskapsarkitektprogrammet, Ultuna

Institutionen för stad och land

Uppsala 2021

Sveriges lantbruksuniversitet, fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för stad och land, avdelningen för landskapsarkitektur, Uppsala
Examensarbete vid landskapsarkitekturprogrammet, Ultuna.
Kurs: EX0860, Självständigt arbete i landskapsarkitektur, A2E - landskapsarkitekturprogrammet –
Uppsala, 30 hp
Kursansvarig institution: Institutionen för stad och land.
Nivå: Avancerad A2E
© 2020 Emelie Andersson, e-post: anderssonemelie94@gmail.com
Titel på svenska: Urbana kolsänkor - Utformning av kolinlagrande vegetationsytor i staden.
Titel på engelska: Urban carbon sinks - Designing urban green spaces for carbon sequestration.
Handledare: Gudrun Rabenius, SLU, institutionen för stad och land.
Examinator: Helena Nordh, SLU, institutionen för stad och land.
Biträdande examinator: Ulla Myhr, SLU, institutionen för stad och land.
Omslagsbild: Perspektiv över Gläntan. Illustration av författaren.
Upphovsrätt: Samtliga bilder/foton/illustrationer/kartor i examensarbetet publiceras med tillstånd
från upphovsrättsinnehavaren. Där inget annat anges är de författarens egna.
Originalformat: A3
Nyckelord: landskapsarkitektur, kolsänka, kolinlagring, Uppsala, naturvägledning
Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

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

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

Tack till...

Guðrun Rabenius för stort engagemang och vägledning.
Handledare på Bjerking för ämnesinspiration och stöttning.
Mina intervjupersoner för all kunskap ni delat med er av.

Sammanfattning

I ett föränderligt klimat behöver landskapsarkitekten verktyg för att genom planering, förvaltning och gestaltning åstadkomma hållbara stadsbyggnadslösningar. Trädens bidrag med ekosystemtjänster genom kolinlagring undersöks internationellt utifrån dess roll i klimatarbetet, vilket också kan utgöra ett argumentationsunderlag för nyttan av gröna miljöer i staden. Med naturvägledning som verktyg möjliggörs fortsatta samtal om relationen mellan grönska, klimatförändringar och stadsbyggnad samtidigt som kunskapen om naturens processer förs vidare. Det här examensarbetet undersöker hur landskapsarkitekten, genom gestaltning kan möjliggöra för och förmedla nyttan av kolinlagring i multifunktionella, urbana vegetationsytor. I fördesignfasen användes en litteraturoversikt och intervjuer för att få underlag till förhållningspunkter och faktorer för kolinlagring som verktyg för den gestaltande landskapsarkitekten. Med skissande som metod utvecklades i designfasen ett gestaltningskoncept och utifrån en platsanalys applicerades förstudiens faktorer på ett fallstudieområde. I ett gestaltningsförslag för en yta på Sveriges lantbruksuniversitets campus Ultuna gavs förslag på växtval, växtbäddssubstrat och skötsel som enligt förstudien främjar kolinlagring. I postdesignfasen presenterades gestaltningen med illustrationer och tillhörande skyltningstexter, som utifrån naturvägledningens filosofi berättar om kolinlagring. Gestaltningsförslaget illustrerar hur kolinlagring kan kombineras med värden för rekreation samtidigt som nyttan av ekosystemtjänsten genom skyltning kan förmedlas till platsens besökare. Den avslutande diskussionen slår fast att det finns flera faktorer som påverkar kolinlagringen och att de går att kombinera med andra värden i en urban grönyta. En slutsats av arbetet är att det finns flera sätt genom vilka landskapsarkitekter kan främja kolinlagring i städer, genom såväl gestaltning som planering och att detta vidare måste studeras.

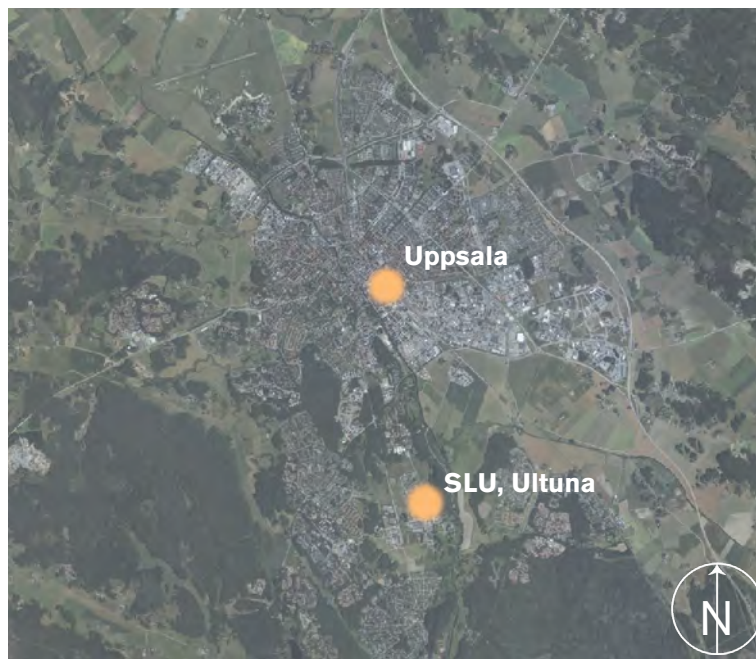
Abstract

In a changing climate landscape architects need tools for planning, management and design to achieve sustainable solutions in city planning. The contributions of trees through ecosystem services via carbon sequestration is investigated internationally based on its roll in climate work and as an argument for the benefits of green urban spaces. Nature interpretation as a tool has the ability to keep the conversation about the relationship between greenery, climate change and city planning alive and at the same time make sure that the knowledge about natural processes are passed forward. The purpose of this thesis is to investigate how landscape architects, through design, can support carbon sequestration and mediate its benefits in urban multifunctional green spaces. In a pre-design phase a literature review and interviews were used as a method to put up principles for carbon sequestration as a tool for landscape architects to use when designing. In the design phase a design concept was developed through sketching and based on a site analysis the principles from the pre-design phase were applied on a case study site. In a design proposal for a case study site at the Ultuna campus of the Swedish University of Agricultural Sciences suggestions for species selection, plant substrate and management strategies that promote carbon sequestration were given. In the post-design phase presentation material were developed and with the philosophy of nature interpretation signs, telling about carbon sequestration, were created. The final discussion determines that there are several factors that affects carbon sequestration and that they can be used when designing multifunctional urban greens space. The work of this thesis draws the conclusion that there are several ways through which landscape architects can promote carbon sequestration in urban areas, through design as well as through city planning, and that this subject need further investigation.

Summary

Trees are valued for their ecosystem services such as biodiversity (Egan 2019), but as a climate mitigation tool they are both highly appraised (Bastin et al. 2019) and criticized (Buis 2019; Egan 2019). Even though carbon storage through green infrastructure is limited (Baró et al. 2014; Baró & Gómez-Baggethun 2017) it is important to value trees in urban planning for their high worth, in both in economical and emotional senses (Deak Sjöman & Östberg 2020). With nature interpretation as a tool to teach and engage the discussion about nature and climate change can be kept alive (SLU 2020a). The purpose of this thesis is to investigate how landscape architects through design can support carbon sequestration and mediate its benefits in urban multifunctional green spaces. The aims to answer following research question: *How can urban, recreational green space be designed to communicate and promote carbon sequestration?*

At the campus of Swedish University of Agricultural Sciences, in Uppsala (figure 1) this design proposal aims to propose an applicable alternative to lawn, that possibly can



Figur 1. Map of Uppsala. Background map: Flygbild scale 1:150 000 © Lantmäteriet, modified by the author.

sequester carbon, complement other exhibition gardens and offer possibilities to learn about urban carbon sinks.

Method

Research by design is method divided into three phases (Roggema 2016). In this thesis it was used as an overall method where the pre-design phase, included literature review and interviews, the design phase, included site analysis and different sketch methods, and the post-design phase, included creating presentation material and a reflection.

Pre-design phase

Background

Higher levels of greenhouse effects ecosystem (IPCC 2020) and the interest for urban green space as carbon sink are rising (Tang et al. 2016). Urban forests can act as carbon sink (Tang et al. 2016) meanwhile, compared to high levels of emission, the carbon sequestration potential of street trees is limited (Hirons & Sjöman 2019) but needs further investigation (Tang et al. 2016).

Carbon sequestration in soil and plants

By protecting old trees (Lahoti et al. 2020), make room for urban green space in city planning (McPherson & Simpson 1999) and save forests from deforestation through Nature based solutions (Cohen-Shacham et al. 2016) landscape architects can support carbon sequestration. Though the following results also indicates that it is possible to design for carbon sequestration in urban green spaces as well.

Besides geographical location (Eriksson et al. 2011) and climate (Singh 2018) carbon sequestration depends on several processes and traits in plants and soil. When choosing plant species one should consider the durability of the site (McPherson & Simpson 1999), potential stress factors (McPherson & Simpson 1999; Scharenbroch 2012) and space limitations (McPherson & Simpson 1999; Kiss et al. 2015). Acting inconsiderate concerning the above might result in carbon emission due to unnecessary pruning, decomposition of those pruned parts and emissions from

machines used in management (McPherson & Simpson 1999; Nowak et al. 2002).

Carbon sequestration in plants depend on several factors and traits, though generally, more biomass equals more sequester carbon (Velasco et al. 2016; Lahoti et al. 2020) and that is also the reason why trees and, to some extent, shrubs store more carbon than herbaceous plants (Chan et al. 2018). The amount of biomass is affected by size (Kiss et al. 2015; Weissert et al. 2017; Hirons & Sjöman 2019; Lahoti et al. 2020) and life expectancy (Sunderland et al. 2012; Hirons & Sjöman 2019). Interview¹ and literature has also shown that wood density is important (Jandl et al. 2007; Scharenbroch 2012) as well as growth speed according to an interviewee² and literature (McPherson & Simpson 1999; Nowak et al. 2002; Hirons & Sjöman 2019). Interview³ and literature (Kiss et al. 2015; Hirons & Sjöman 2019; Deak Sjöman & Östberg 2020) has also shown that carbon sequestration in plants depend on their vitality.

Beech, *Fagus sylvatica*, is an example of a species with several traits promoting carbon sequestration. The beech has both the trait of size, it is a large tree (Tönnersjö plantskola 2017), and the high wood density according to an interviewee⁴ and literature (Jandl et al. 2007), which makes it possible for this specie to store carbon.

Carbon sequestration in soil depend on species selection through functional diversity (Grime 1998; Tilman 2001) and root architecture (Jobbágy & Jackson 2000; Eriksson et al. 2011). Mycorrhiza symbiosis is also important according to literature (Godbold et al. 2006; De Deyn et al. 2008) and interviewee⁵. By adding organic matter to the soil plants are fertilized and the amount of sequestered carbon in biomass can grow⁶. Biochar, a carbon stabilising plant substrat (Sohi 2012), also has an indirect effect on the amount of sequestered carbon in plant parts (Wang et al. 2016).

- 1 Totte Niittylä, universitetslektor, intervju 2021-03-25
- 2 Totte Niittylä, universitetslektor, intervju 2021-03-25
- 3 Totte Niittylä, universitetslektor, intervju 2021-03-25
- 4 Totte Niittylä, universitetslektor, intervju 2021-03-25
- 5 Sigrun Dahlin, forskare, intervju 2021-03-17
- 6 Sigrun Dahlin, forskare, intervju 2021-03-17

Nature interpretation

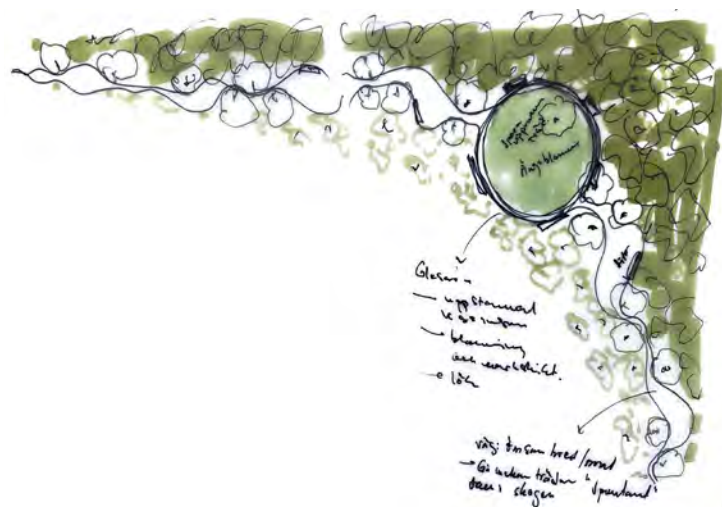
Nature interpretation as a guidance tool can be used to educate and create a relationship between the individual visitor and nature (Arnell et al. 2009) and through that achieve sustainable changes for society (Nordiska ministerrådet 1990). Through a path with signs (SLU 2020b), written in an informative yet narrative way (Östberg 2011), a site can pass on a given purpose and theme (Naturvårdsverket 2018).

Design phase

With the synthesis from the pre-design phase the aim in the design phase is to develop a design proposal, promoting carbon sequestration in combination with purposes for recreation and teaching. Through site analysis, design concept and sketches (figure 2) possible solutions to the design problem are explored.

Design concept and site analysis

Inspired by the light and shadow in the forest the design concept "Space" explores and makes room for humans in nature.



Figur 2. Elaborated sketch showing a glade and a winding path.

Based on the underlying literature review and interviews, an inventory reveals existing values for carbon sequestration at the site. The trees at the site are, generally, in good condition and therefore have potential to sequester carbon. The analysis shows that the site also has potential spaces for recreation and through connections and entrances it could possibly have a great value as a teaching environment.

Post-design phase

The design proposal combines carbon sequestration, recreation and guidance through nature interpretation. "The glade" offers space for social encountering and signs along the path informs the visitor about functional diversity, growth speed, biochar, large trees, organic matter and the importance of protecting old trees. Near the path flowering plants are planted for their esthetical values and bushes alongside the bicycle path are low and allowing for visual contact with others.



Figur 3. Perspective illustration. A sign is informing the visitor about traits promoting carbon sequestration in beech.

Carbon sequestration through heritage interpretation

Based on the underlying literature review and interviews in the pre-design phase the signs along the path aim to give a narrative introduction to carbon sequestration. Below is an example telling about traits promoting carbon sequestration in beech (figure 3).

Sign text 2:

Beech, Fagus sylvatica, grows to a large tree and has, as a specie, a potentially large carbon storage in its biomass. Wood density is an important factor for carbon sequestration and compared to aspen the beech has high wood density and can therefore also store a larger amount of carbon. But the size of the beech also matters, therefore this specie has two important traits for carbon sequestration. If carbon were a currency the beech would be rich!

Conclusion

This master thesis presents an example of how factors for carbon sequestration in plants and soil, through specie selection, management strategies and plant substrate, can be used as a design tool for landscape architects to use when design urban green spaces. The result has also shown that carbon sequestration in urban green spaces can be used as an argument for the importance of green areas in cities. Though without measuring it can be hard to estimate the amount of carbon that can be sequestered in a green area where factors for carbon sequestration have been used as a design tool. Therefore, it can also be difficult to draw conclusions from the results of this thesis regarding the effect of designed urban carbon sinks on lowering the levels of carbon dioxide in the atmosphere as a tool in fighting climate change. Being aware of how carbon is sequestered in green areas, landscape architects can probably make a measurably bigger difference for carbon sequestering in city planning though this needs further investigation.

Innehåll

1. Introduktion	9	4.2 Analys	27
1.1 Inledning	10	4.3 Program	28
1.2 Syfte	11	4.4 Arbetsprocess: gestaltningskoncept	29
1.3 Frågeställning	11	5. Postdesignfas	30
1.4 Avgränsningar och målgrupp	11	5.1 Illustrationsplan: Ultuna Kolpark	31
2. Metod och material	12	5.2 Gestaltningsförslaget	32
2.1 Research by design	13	5.3 Diskussion av metod och resultat	46
2.2 Litteraturoversikt	13	6. Referenser	49
2.3 Semistrukturerade intervjuer	14	7. Bilagor	55
2.4 Platsinventering och analys	15	Bilaga 1 : Intervjufrågor	56
2.5 Skissarbete	15		
3. Fördesignfas	16		
3.1 Bakgrund	17		
3.2 En introduktion till kolinlagring	18		
3.3 Kolinlagring i mark	18		
3.4 Kolinlagring i växter	20		
3.5 Naturvägledning	22		
3.6 Den gestaltande landskapsarkitektens verktyg för att främja kolinlagring i urbana vegetationsytor	23		
4. Designfas	24		
4.1 Inventering	25		

1. Introduction

1.1 Inledning

Stor tilltro ges till trädens potential att mildra klimatförändringarnas konsekvenser och även om synergieffekterna är många växer också oron. Beräkningar visar att återplantering av 0,9 miljarder hektar skog världen över skulle kunna binda och lagra mycket koldioxid och således vara ett effektivt verktyg i kampen mot klimatförändringarna (Bastin et al. 2019). Från flera håll kommer dock kritik som menar att en så tillsynes enkel lösning riskerar att överskugga behovet av att istället drastiskt dra ner på utsläppen (Buis 2019; Egan 2019). Träd kan förutom kolinlagring också ge många andra positiva effekter på exempelvis lokalklimat, biologisk mångfald och som ekonomisk resurs, vilka kanske bör vara de främsta anledningarna till att plantera dem (Egan 2019). Trädplantering som metod är komplex och ställer frågor om påverkan på artdiversitet, tidsperspektiv och praktiskt genomförande, men trots det finns det ändå en hoppfullhet inför att använda storskalig återplantering av träd som ett komplement till överenskommelser om utsläppsminskningar i Parisavtalet (Buis 2019). Det här examensarbetet inom ämnesområdet för landskapsarkitektur undersöker hur landskapsarkitekten genom gestaltning kan möjliggöra för och förmedla nytta av kolinlagring i multifunktionella urbana vegetationsytor.

Stadsträd och kolinlagring: klimat- och argumentationsverktyg

Stadsträdens kolinlagrande förmåga är förhållandevis liten men dess ekonomiska, biologiska och emotionella värde är desto större. I stor skala utgör kolförrådet i urbana jordar (Brown et al. 2012) och städernas grönstruktur en förhållandevis liten kolsänka (Baró et al. 2014; Baró & Gómez-Baggethun 2017), men genom beräkningar på svenska stadsträd gjorda med verktyget i-Tree Eco blir det ändå uppenbart att deras bidrag är betydande, den kol stadsträden sammanlagt inlagrar motsvarar över 5,6 miljoner personbilars utsläpp under ett år och har ett ekonomiskt värde som når miljardsummor (Deak Sjöman & Östberg 2020). Med naturvägledning som verktyg kan kunskap spridas, samtidigt som det kan leda till samtal om sambandet

mellan stadsplanering och pågående klimatförändringar (SLU 2020a). Från att beskriva den fotosyntetiska processen i träd till att informera om hur individen kan engagera sig, kan naturvägledningen verka för att både informera och inge hopp i samtal om ett föränderligt klimat (ibid.) Stadsträden har både emotionella och direkt mätbara värden vars samhällsnytta bör synliggöras, och genom att kvantifiera och sätta en prislapp på stadsträdens bidrag genom ekosystemtjänster kan deras fortlevnad och betydelse säkerställas i stadsplaneringen (Deak Sjöman & Östberg 2020).

Fallstudie: ett pedagogiskt och applicerbart exempel

Med ett fallstudieområde på Sveriges lantbruksuniversitets campus Ultuna i Uppsala (figur 4) kan platsen efter omgestaltning potentiellt fungera som en lärande miljö och visa på klimatsmarta alternativ till skötselkrävande gräsytor i staden. En stor del av de gröna ytorna i svenska städer utgörs av gräsmatta som på grund av sin intensiva skötsel ger ett nettoutsläpp av koldioxid som kan undvikas (Ignatieva 2017). Medan städernas många gräsytor kan ge utsläpp av koldioxid (ibid.) visar studier (Chan et al. 2018)

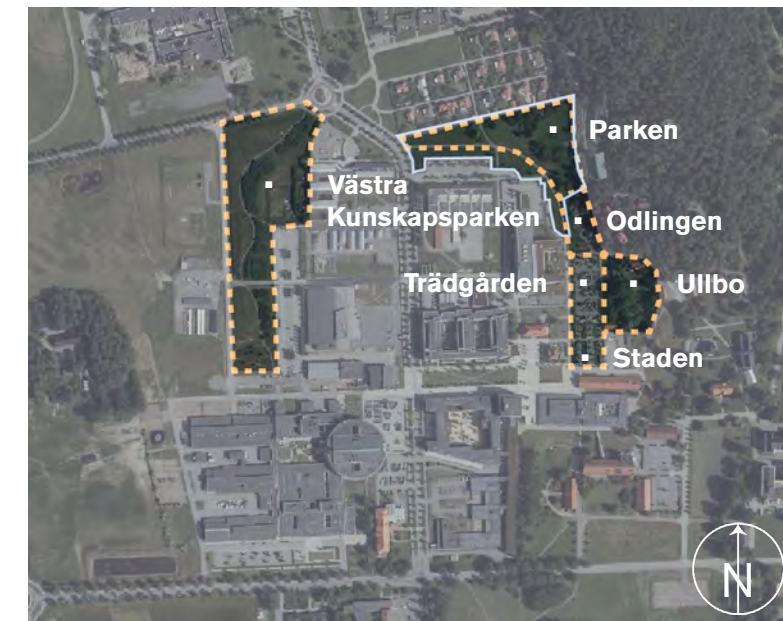


Figur 4. Bakgrundskarta:
Flygbild skala 1:150 000 © Lantmäteriet, bearbetad av författaren.

att träd, buskar och till mindre del örtartade växter kan vara kolsänkor. Det här examensarbetet visar hur medvetna växtval i en omgestaltning kan få en i dagsläget gräsbeklädd yta på Sveriges lantbruksuniversitets campus Ultuna att potentiellt lagra in koldioxid istället för att släppa ut det.

Fallstudieområdet gränsar till flera visningsträdgårdar som fungerar som en studiemiljö för universitets verksamhet och en parkmiljö tillgänglig för allmänheten (SLU 2021d). Indelat i Staden, Trädgården, Odlingen och Ullbo trädgårdslund kan visningsträdgårdarna, med sitt utbud av växter och markbeläggningar, fungera som en inspirerande, rekreativ lärandemiljö för landskapsarkitektstuderande och andra intresserade (ibid.). Även den angränsande Parken och närliggande Västra Kunskapsparken utgör en del av den gröna campusmiljön och med tankar om stora träd, gräsmattor, runda rum och häckar av friväxande karaktär, finns på sikt utvecklingsplaner för området Parken (ibid.).

Den del som benämns som Parken (figur 5) har med omgivande gräsytor valts för fallstudien eftersom den är en naturlig förlängning av Kunskapsparken. Likt de andra visningsträdgårdarna på campus skulle även denna försöksanläggning, med pedagogiska medel, kunna fungera



Figur 5. Fallstudieområdet (blå linje) i relation till andra visningsträdgårdar (orange linje) på SLU campus. Baserad på: SLU (u.å.). Bakgrundskarta:
Flygbild skala 1:10 000 © Lantmäteriet, bearbetad av författaren.

som en studiemiljö och utgöra ett exempel på innovation och utveckling att lära av för framtiden och bedriva vidare studier på. Den här uppsatsens strävar efter att presentera ett gestaltungsförslag som också skulle kunna innebära att platsen också kan bidra till den funktionalitet, attraktivitet och utvecklingsinriktade helhet som SLU (2021a) har som målsättning i sin campusplan. Belägen mellan universitetsbyggnader och bostäder (figur 6) bedöms ytan potentiellt kunna bidra till rekreation och möten mellan boende, anställda och studerande vid universitet. Syftet med förslaget för den här fallstudieytan är också dess gestaltungsprinciper ska kunna vara applicerbara även andra liknande grönytor i staden.

Platsen är också vald utifrån det faktum att gestaltningens fokus väl stämmer överens med universitetets egna klimatmål och i tid sammanfaller med andra pågående försöksodlingar. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) ämnar, genom en rad utsläppsminskande åtgärder och exempelvis klimatkompensation, vara ett klimatneutralt universitet före 2027 (SLU 2017), och med start 2020 undersöks som ett fokusområde i arbetet mot klimatneutralitet hur SLU, genom till exempel egen biokolstillverkning, kan binda koldioxid och kompensera för universitetets utsläpp (SLU 2021b). Biokol framställs av biomassa genom upphettningprocessen pyrolys vilket gör att biomassans kol hindras från att brytas ned (Sohi 2012). SLU Fastighetsavdelningen, Institutionen för stad och land samt Institutionen för mark och miljö startar under våren 2021 upp ett projekt med testbäddar innehållande olika kompositioner av makadam och biokol nära Kunskapsparken (Åkerblom 2021). Syftet med projektet är att studera bland annat tillväxt hos växter och infiltrationsförmåga mot bakgrund av intresset för regnbäddar och kolinlagring som anpassning till ett föränderligt klimat.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka hur landskapsarkitekten genom gestaltning kan möjliggöra för och förmedla nyttan av kolinlagring i multifunktionella urbana vegetationsytor.

1.3 Frågeställning

Hur kan urbana, rekreativa vegetationsytor utformas för att kommunicera och gynna kolinlagring?

1.4 Avgränsningar och målgrupp

Arbetet riktar sig till landskapsarkitekter och andra yrkesgrupper som på ett eller annat sätt arbetar med stadsplanering. Arbetet kan också vara intressant för studenter med inriktning mot stadsbyggnad samt personer involverade i, eller intresserade av, förvaltning av gröna miljöer. Examensarbetet presenterar ett gestaltungsförslag med fokus på faktorer som gynnar kolinlagring, som reglerande ekosystemtjänst i vedartade växter och växtbädd. Examensarbetet ämnar inte presentera ett förslag för

maximal kolinlagring och kommer inte heller att visa på beräkningar för det. Gestaltningen är illustrativ och ger förslag på växter men kommer inte visa på projekterade planer eller fullständiga växtlistor. Artval för träd kopplat till kolinlagring kommer att presenteras medan arter av buskar främst kommer användas för att illustrera storlek och karaktär. Förslaget tar hänsyn till platsspecifika faktorer, som exempelvis växtzon och typ av användning men säger sig inte vara allmängiltigt även om principerna med anpassningar kan vara applicerbara även på andra platser. Gestaltningen är ett hypotetiskt förslag och är helt fristående från och tar ingen hänsyn till SLUs egna planer för platsen. Examensarbetet fokuserar på kolinlagring genom växtgestaltning som ekosystemtjänst och kommer inte beröra andra, dock lika viktiga, ekosystemtjänster som växter och jordar också bidrar med.



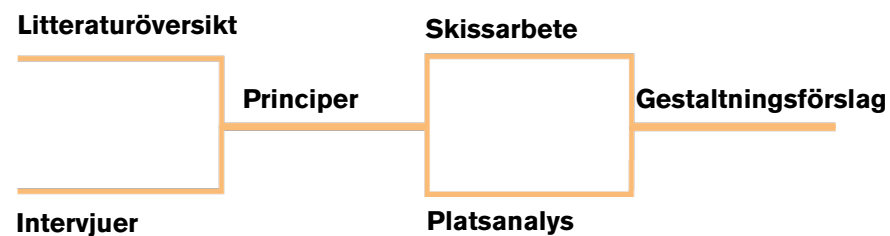
Figur 6. Fallstudiområdet (orange linje) i förhållande till omgivande campusbyggnader (1) Markvetenskapshuset, (2) Mark-Vatten-Miljöcentrum, (3) Biocentrum, (4) Ulls hus, (5) Veterinär- och husdjursvetenskapligt centrum och (6) Ekologikum. Bakgrundskarta: Flygbild skala 1:50 000 © Lantmäteriet, bearbetad av författaren.

2. Metod och material

I metodkapitlet beskrivs och motiveras metodval. Först redogörs för Research by design som metametod och därefter beskrivs delmetoder. Litteraturoversikt och intervjuer förklaras utifrån metodik, genomförande och analys. Därefter följer en beskrivning av inventering och analys av fallstudieområdet. Kapitlet avslutas med en redogörelse för skissmetoder och dess syften.

2.1 Research by design

Research by design användes som metamedod för arbetet. Research by design kan vara en metod för att lösa ett så kallat lömskt problem (Roggema 2016), vilket är ett problem som kan lösas på flera sätt, med mer eller mindre bra resultat, men aldrig presentera ett rätt eller fel svar på frågan (Rittel & Webber 1973). Research by design som metod kan delas in i tre faser, där fördesignfasen syftar till att ge en förståelse inför designfasen (Roggema 2016). I metodens första fas ges en förståelse för uppgiften och dess kontext, sakkunniga personer kontaktas och genom analyser ges en första bild av en potentiell lösning på problemet. I den andra fasen, designfasen, arbetas flera förslag fram som svarar på designfrågan, i den här fasen är reflektion under arbetet också viktig. I den sista fasen, postdesignfasen, sammanställs och kommuniceras resultatet i presentationsmaterial.



Figur 7. Processillustration.

Frågan för det här arbetet är komplext varför Research by design valdes som metamedod i vilken flera olika metoder används för att presentera ett svar på frågeställningen. I det här arbetet bestod fördesignfasen av en förstudie med en litteraturoversikt med integrativ ansats samt semi-strukturerade intervjuer. Designfasen bestod av inventering och analys av fallstudieområdet samt flera skissmetoder. I postdesignfasen kommunicerades resultatet i illustrationer med tillhörande text och avslutades med en diskussion.

2.2 Litteraturoversikt

Den integrativa litteraturoversikten syftar till att hitta nya perspektiv inom ett forskningsfält genom att recensera,

kritisera och syntetisera det skrivna material som redan finns (Torraco 2005). Den kritiska analysen i den integrativa litteraturoversikten kan ge en bild av huruvida litteraturen är heltäckande eller inte, vilka övergripande och accepterade idéer som finns inom ämnet och vilket ursprung ämnesområdet från början har (ibid.). Slutprodukten av den kritiska analysen ska kunna leda till ny kunskap inom området och genom att identifiera bland annat brister, luckor och motsägelser i litteraturen kan analysen skala ner och sätta fingret på var mer forskning behövs.

Det kan vara till stor hjälp att börja med att motivera varför den här typen av litteraturoversikt bäst problematiserar forskningsområdet och om forskningsområdet kommer ha nytta av de nya insikter som översikten bidrar med (Torraco 2005). I det efterföljande arbetet med litteraturoversikten är det också viktigt att säkerställa att metoden beskrivs på ett transparent sätt genom att beskriva sökvägar, urval, databaser, inkluderings- och exkluderingskriterier, hur materialet har lästs och hur teman urskiljs och analyserats. I slutskedet av processen bör författaren säkerställa att den integrativa litteraturoversikten presenterar en kritisk analys av det använda materialet samt redogör för hur materialet har syntetiserats och vilka nya idéer detta bidrar med till forskningsfältet.

Den här litteraturoversikten har inslag av Torracos (2005) integrativa litteraturoversikt, så som den definieras och utförs. I den här litteraturoversikten har också artiklarnas referenslistor och sakkunniga informanter kunnat bidra med ytterligare relevant litteratur. Litteraturoversikten i denna uppsats har som mål att kartlägga vad som står skrivet om ämnet och identifiera kunskapsluckor. Denna litteraturoversikt, med en integrativ ansats, valdes som metod eftersom det för ämnet och frågeställningen lämpar sig att kritiskt studera litteraturen för att finna nya perspektiv inom ett ämne som, vid studiens början, antogs vara relativt outforskat, i alla fall i ett urbant perspektiv. Litteraturoversikten valdes också främst som metod eftersom den ansågs kunna ge underlag inför gestaltungsarbetet och principer för vilka den senare skulle kunna baseras på.

För att hitta litteratur till litteraturoversikten användes en mängd sökord i kombinationer. Sökkombinationerna

som gav större delen av all användbar litteratur innehöll kombinationer av ord som *urban* och *carbon sequestration* eller *carbon sink*. I sökmotorerna Google Scholar, Web of Science och Primo gjordes sökningarna på engelska, filtrerades som vetenskapligt granskade och med sökorden i titeln. Artiklar som endast kommenterade eller recenserade andras verk exkluderas. I första urvalet lästes artiklarnas sammanfattning och de artiklar som inte ansågs kunna besvara frågeställningen exkluderas. I andra urvalet inkluderades endast de artiklar som, efter att överskådligt ha lästs i sin helhet, ansågs kunna besvara frågeställningen. Ytterligare information söktes på Googles sökmotor vilken också särskilt källkritiskt granskades och jämfördes med resultat av vetenskapligt granskade studier.

Analys och syntetisering; litteratur

Genom den valda litteraturen och analysen av den gavs förståelse för principer för kolinlagring i växter och jord, vilka faktorer som gynnar den och vilka som motverkar den. Syntetiseringen av litteraturen drog paralleller mellan skogs- och jordbruksperspektiv och en urban kontext och kunde på så vis formulera problem och redogöra för hur dessa kan appliceras, av en gestaltande landskapsarkitekt, på vegetationsytorna i staden. Analysen av litteraturen visade också på, inom forskningsfältet, vedertagna fakta och perspektiv i vilka åsikterna går isär, vilket gav underlag för diskussion. Analysen i detta arbete identifierade också kunskapsluckor i litteraturen varvid nya studier kan ta vid.

Material: nyckeltexter

Under den här rubriken redogörs för ett antal källor som varit särskilt viktiga i arbetet med den här uppsatsen. Källornas beskrivning kortfattat och dess relevans för det specifika arbetet motiveras.

Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide (2002) av David J. Nowak, Jack C. Stevens, Susan M. Sisinni och Christoher J. Luley.

Nowak et al. (2002) studie syftar till att undersöka hur trädart, skötselåtgärder och användning av virket har betydelse för om trädet är en kolsänka eller en kolkälla, samt att redogöra för den optimala skötseln för att främja kolinlagring i vegetation i ett urbant perspektiv. Studien

består bland annat av scenariometoder för skötsel samt en jämförelse av ett stort antal träddarter utifrån förväntad livslängd, storlek och tillväxttakt. Resultatet av studien visar att skötselmetoder är viktiga i sammanhanget för kolinlagring eftersom felaktig skötsel kan ge ett nettoutsläpp av koldioxid. Studien besvarade den här uppsatsens frågor om sambandet mellan skötsel och kolinlagring och förekom som referens i ett flertal andra studier som använts i det här arbetet vilket gjort att den också ansetts trovärdig.

Carbon dioxide reduction through urban forestry: guidelines for professional and volunteer tree planters (1999) av E. Gregory McPherson och James R. Simpson.

McPherson & Simpson (1999) redogör i sitt vägledningsdokument för på vilket sätt urban grönska kan utgöra en potentiell kolsänka. Dokumentet är tänkt att fungera som ett underlag för växtval och ett verktyg vid plantering i projekt där målsättningen är att främja kolinlagring. Vägledningsdokumentet är bekostat av bland annat statliga organ och forskningsinstitut. För det här arbetet utgjorde vägledningen ett underlag för faktorer för kolinlagring och har likt föregående nyckeltext ansetts trovärdig då denna också förekommit i referenslistor i flera andra undersökningar som använts i den här uppsatsen.

i-Tree Sverige: för strategiskt arbete med trädets ekosystemtjänster (2020) av Johanna Deak Sjöman och Johan Östberg

Deak Sjöman & Östberg (2020) rapport har som syfte att synliggöra, kvantitativt och ekonomiskt, de ekosystemtjänster som svenska stadsträd bidrar med. Rapporten syftar till att fungera som diskussionsunderlag vid beslutsfattande. I rapportens metod används beräkningsverktyget i-Tree Eco för att presentera kvantitativa beräkningar för trädets ekosystemtjänster. I det här arbetet är rapporten den enda svenska studien på kolinlagring i urbana miljöer som kunnat hittas och har därför varit värdefull för att kunna dra paralleller till de många andra utländska källorna. Att rapporten nyligen kommit ut visar också på ämnets aktualitet och den har därav också kunna användas för att motivera relevansen kolinlagring som ett ämne för ett examensarbete inom landskapsarkitektur.

2.3 Semistrukturerade intervjuer

Intervjumetodik

En semi-strukturerad intervju bör utformas så att den intervjuade får bestämma vilken riktning samtalen ska ta (Priyadarshini 2020). Frågeformuleringen bör därför ge utrymme för den intervjuade att lyfta fram det som hen tycker är viktigt men bör också kunna besvara frågeställningar och göra intervjun meningsfull för den specifika studien. Frågorna kan således utformas för att bidra med såväl information som olika åsikter om ett ämne till undersökningen.

Frågeformulering och informatörer

Intervju valdes som metod eftersom samtal med sakkunnig antogs kunna bidra med fakta som var svår att hitta i litteratursökningen. Metoden gav också möjlighet att diskutera resultatet av litteraturoversikten och ge förtydliganden. Semistrukturerad intervju valdes som intervjumetodik med förhoppningar om att de sakkunniga därigenom skulle få möjlighet att ge en aktuell bild av forskningsläget inom ämnet och uttrycka sin åsikt. Intervjustrukturen valdes också då den i kombination med diskussion också ansågs kunna bidra med fakta, svar på frågor, ge intressanta vinklingar och lyfta fram teman som kunde vara intressanta att studera vidare i litteraturen. Efter att flera frågor förblivit obesvarade och vissa ämnen behövde förtydligande efter litteraturoversikten, söktes informanter för intervjuer. Efter diskussion med handledare om potentiella intervjupersoner som eventuellt skulle kunna besvara obesvarade frågor tillfrågades universitetsadjunkterna Örjan Stål och Björn Embrén om att ställa upp på intervju.

Efter kontakt med en forskare på Institutionen för mark och miljö, SLU tillfrågades Sigrun Dahlin, forskare vid institutionen för mark och miljö, om en intervju om främst markprocesser vilka påverkar kolinlagring i jord. En anställd på Institutionen för skoglig genetik och växtfysiologi, SLU hänvisade till Totte Niittylä, universitetslektor vid Institutionen för skoglig genetik och växtfysiologi, som bads ställa upp på en intervju om kolinlagringsfaktorer i

växter.

Intervjuförberedelser och kontakt

Samtliga informanter tillfrågades via mejl om de var intresserade av att ställa upp på en intervju. I mejlet fanns information om syftet med studien, temat för intervjun och förhoppningar inför den. Via mejl gav samtliga informanter sitt medgivande till att intervjun spelades in, vilket de också ombads ge sitt godkännande till vid själva intervjun. Inför varje enskild intervju skickades ett antal förformulerade frågor till informanterna för att de skulle ha en möjlighet att förbereda sig. I mejlkontakt gav informanterna också sitt godkännande till att omnämnas vid namn i uppsatsen.

Intervjugenomförande

De fyra informanterna intervjuades enskilt vid fyra olika tillfällen och frågorna var individuellt utformade även om de ibland berörde samma teman. Samtliga intervjuer började med en presentation av uppsatsens syfte, målsättning och frågeställningar samt syftet med intervjun. Därefter besvarades de frågor som skickats ut till informanten innan intervjun och eventuella följdfrågor ställdes och diskuterades.

Intervju 1: biokol

Örjan Stål, universitetsadjunkt vid Institutionen för stad och land, SLU intervjuades den 2021-03-08. De semistrukturerna intervjufrågorna var uppdelade under tre rubriker för förtydliga frågan. Informanten kunde också välja att diskutera ämnet utifrån de tre temana ifall frågan inte täckte in det som informanten tyckte var relevant. Se bilaga 1 för intervjufrågor.

Intervju 2: biokol

Björn Embrén, universitetsadjunkt vid institutionen för stad och land, SLU intervjuades den 2021-03-09. Informanten hade, inför intervjun, på mejl skriftligen besvarat de semistrukturerna intervjufrågorna som skickats ut. Inför denna intervju, likt för intervju 1, hade frågorna delats in under tre förtydligande rubriker för att också öppna upp för diskussion om informanten tyckte att frågan missade något väsentligt. Under intervjun diskuterades svaren som

erhållits på mejl och ytterligare förberedda följdfrågor ställdes och besvarades. Se bilaga 1 för intervjufrågor.

Intervju 3: mark och kolinlagring

Sigrun Dahlin, forskare vid institutionen för mark och miljö, SLU intervjuades 2021-03-16. Syftet med intervjun var att diskutera och granska resultatet av litteraturstudien samt att ställa ytterligare frågor om kolinlagring i mark och växter. Intervjun ämnade också visa på transparens i den specifika studien vilken innefattar flera perspektiv som inte huvudsakligen hör till landskapsarkitektens ämnesområde. I förväg fick informanten ta del av semi-strukturella intervjufrågor samt påståenden om sådant som litteraturstudien visat på. Under intervjun besvarades och diskuterades frågorna och påståenden. Se bilaga 1 för intervjufrågor.

Intervju 4: växter och kolinlagring

Totte Niittyä, universitetslektor vid Institutionen för skoglig genetik och växtfysiologi, SLU intervjuades 2021-03-25. Syftet med intervjun var att diskutera resultatet av litteraturstudien samt att ställa ytterligare frågor om kolinlagring i växter. Likt vid intervju 3 ämnade denna intervju visa på transparens och ödmjukhet inför ämnets komplexitet. I förväg fick informanten ta del av semi-strukturella intervjufrågor som under intervjun besvarades och diskuterades. Se bilaga 1 för intervjufrågor.

Analys och syntetisering: intervju

Samtliga intervjuer transkriberades separat och i sin helhet, bortsett från för studien irrelevanta sidospår som inte transkriberades utan markerades i transkriptet. Varje enskilt transskript strukturerades och syntetiserades utifrån teman; huruvida de bekräftade sådant som uppkommit i litteratur och intervjuer, bidrog med ny information till undersökningen eller ifrågasatte tidigare resultat. På så sätt kunde intervjuerna stärka, bekräfta och ge djupare förståelse för det resultat som litteraturöversikten visat.

2.4 Platsinventering och analys

Platsbesök och inventering av fallstudieområdet gjordes vid tre separata tillfällen där det första tillfället syftade till att ta ett övergripande grepp på området och samla inspiration till skiss- och gestaltningsarbetet. Vid det andra platsbesöket låg fokus på en grundlig inventering av växtmaterial, solförhållanden och relation till omgivningen. Ett kortare tredje platsbesök den 2021-05-10 syftade till att artbestämma växter som det funnits en osäkerhet kring vid de tidigare besöken samt att fotografera.

Det första platsbesöket genomfördes 2021-03-31. Under besöket insamlades inspiration till gestaltningen utifrån nuvarande utformning av den specifika platsen men också omkringliggande miljöer. Från Ullbo och Kunskapsträdgården togs inspiration till formspråk och växtmaterial. Platsbesöket dokumenterades med fotografier.

En grundlig inventering genomfördes 2021-04-12. Syftet med inventeringen var att få en uppfattning om platsens värde för campusmiljön och relation till sin omgivning. Syftet var också att identifiera svagheter och styrkor i den nuvarande utformningen för att kartlägga utvecklingspotential och utmaningar inför en omgestaltning. Med utgångspunkt i litteraturöversikten analyserades platsens kolinlagrande förmåga idag, samt vilka möjligheter som fanns att förbättra den. Med Uppsala kommuns (2021) baskarta som underlag gjordes ett 10x10 meters rutnät för att underlätta inventering av växter på platsen, på underlaget noterades sedan träd av olika arter och dess placering. Storlek och vitalitet dokumenterades med fotografier. Vidare mätningar, placering av byggnader, träd i omgivningen, vägar och dylikt hämtades ur generad dwg-fil ur Uppsala kommuns (2021) baskarta. Med fokus på platsens tillgänglighet och potential som lärande miljö noterades och fotograferades stråk och entréer. Målpunkter i omgivningen samt närliggande byggnader noterades också.

I analysen låg fokus på träddarter, dess vitalitet, storlek och placering. Intelligande byggnader, solförhållanden och siktlinjer togs också i beaktning. Kopplingar till omgivningarna, och främst Odlingen (figur 5), ansågs viktiga att ta hänsyn till för att knyta omgestaltningen till platsen och tillgängliggöra den i studiesyfte.

2.5 Skissarbete

Flera olika skissmetoder har använts i designfasen. De första skisserna var många, enkla, små frimärksskisser med syfte att ta ett övergripande grepp på området och i stora drag utforska olika lösningar och koncept. Skissandet började redan innan platsbesöken för att fritt utforska utan att färgas eller hindras av inventeringen. Frimärksskisserna fick beskrivande namn och förklarande texter och utvalda skisser utvecklades i sektion, plan och principillustration. Minutskisser, en skiss på en minut, användes också i det tidiga skissarbetet med syfte att testa olika idéer, utan att fastna i detaljer och utförande. Varje skiss utforskade ett nytt formspråk och en ny idé för att på så sätt ge många olika förslag där några utvalda sedan kunde byggas vidare på. I ett senare skede utvecklades de skisser med koncept och formspråk vilket i störst utsträckning tog hänsyn till de aspekter som lyfts fram som viktiga i analysen samt hur väl de kunde hjälpa till att svara mot studiens frågeställning. Under inventeringen användes fullskalig skiss som metod. I snön ritades vägdragning och rumsbildningar upp vilket gav en förståelse för mått och siktlinjer.

Illustration och visualisering gjordes för hand och i Adobe Illustrator och Adobe Photoshop med underlag gjorda i AutoCad och Sketchup. Uppsala kommuns (2021) baskarta med information om bland annat höjder, tomtgränser och vägdragningar användes som underlag i skissarbetet och till illustrationer.

3. Fördesignfas

I fördesignfasen presenteras resultatet av litteraturoversikten och intervjuerna vilka syntetiseras till underlag för gestaltningen. Först problematiseras ämnet i en bakgrund i vilken det också redogörs för hur detta faller inom ramen för landskapsarkitektur. Därefter ges en bakgrund till kolinlagring vilken följs av en redogörelse för faktorer som påverkar det. Ett antal exempel på växter med kolinlagrande egenskaper ges och naturvägledning som verktyg presenteras. Kapitlet avslutas med en sammanfattning och en redogörelse för hur landskapsarkitekten kan använda faktorer för kolinlagring i gestaltning.

3.1 Bakgrund

Planetens landmassor är grunden och förutsättningarna för fungerande ekosystem och mänskligt liv på jorden (IPCC 2020) men som ett resultat av antropogena aktiviteter väntas den globala uppvärmningen nå 1,5 grader någon gång under de tre nästkommande decennierna (IPCC 2018). Med 1,5 gradersmålet i sikte och netto-nollutsläpp av växthusgaser vid 2050 krävs omställningar och anpassningar (IPCC 2018). Uppmaningen att agera nu är tydlig (IPCC 2020).

Klimatförändringar: en kolcykel i förändring

I en rapport IPCCs (2020) beskrivs hur förändrat jordbruk och skogshållning har fört både gott och ont med sig och att det, som ett resultat av en ökande befolknings livsstilsförändringar, ses högre nivåer av växthusgaser i atmosfären, minskad biodiversitet och förlorade ekosystem. Däremot, som svar på våra koldioxidutsläpp, kan rapporten med säkerhet visa på att växter, jordar och våtmarker binder kol från atmosfären. Att landmassorna samtidigt har förmåga till både utsläpp och inlagring av växthusgaser råder det heller ingen tvekan om.

De ökade koldioxidnivåerna i atmosfären har i experiment också kunnat visa sig ha en positiv effekt på kolinlagringen i växter (Drake et al. 1997). Ökad produktion av biomassa i rötter, grenar och stammar kunde förklaras av högre halter koldioxid i luften i experimentet och således framträdde också sambandet mellan ökade koldioxidnivåer och ökad kolinlagring i växter. Nya studier visar dock att ökad tillväxt och kolinlagring ovan jord kan leda till nedbrytning i marken vilket på så sätt kan ge motsatt effekt på markens kolförråd (Terrer et al. 2021).

Omhändertagande av koldioxid lokalt; ett verktyg med synergieffekter

Ekosystem möjliggör genom en mängd ekosystemtjänster till liv på jorden och fungerande ekosystemprocesser är förutsättningen för reglering av klimatförändringarna genom kolinlagring, rent dricksvatten, god luftkvalitet, pollinering och mycket annat (Naturvårdsverket 2020). Dessa ekosystemtjänster kan delas in i

försörjande, reglerande, kulturella och stödjande ekosystemtjänster (Naturvårdsverket 2020) där kolinlagring som klimatreglering räknas till de reglerande ekosystemtjänsterna (Hansen et al. 2014). Hur städerna ska kunna möta framtida utmaningar, när stadsgrönskans bidrag genom ekosystemtjänster hotas av minskade grönytor i urbaniseringen spår, oroar (Xing et al. 2017). Omställningen till ett föränderligt klimat innebär att vi både måste hushålla med mark och samtidigt göra plats åt klimatförändringarnas konsekvenser (Boverket 2020). På samma gång bidrar stadens grönska med ekosystemtjänster vars värde vi kan synliggöra i planeringen (ibid).

Med bakgrund i flera studier som visar på utmaningarna med urbaniseringen, blir det också intressant att titta närmare på lokalt omhändertagande av koldioxidutsläpp inne i själva städerna (Tang et al. 2016). Tang et al. (2016) menar att det i ett flertal studier har visat sig att stadens skogar har en betydande roll som kolsänkor men att underlag ofta saknas för vilken roll gatuträden spelar. I sina studier finner Tang et al. (2016) att även gatuträd är kolsänkor men att deras plats i den urbana kolcykeln vidare måste studeras. Mätningar visar att kolinlagringen beror av typ av träd och att storlek och densitet står i relation till mängden kol träden kan lagra; ju mer biomassa, ju mer kol kan lagras (Velasco et al. 2016). Dock kan stadens träd bara inlagra en förhållandevis liten del av de koldioxidutsläpp som släpps ut i en större stad som exempelvis London men däremot kan grönstruktur bidra till att mindre koldioxid släpps ut genom livsstilsförändringar (Hirons & Sjöman 2019). Exempelvis kan grönstrukturer bjuda in till att gå eller cykla till jobbet istället för att nyttja transportmedel som bidrar till koldioxidutsläpp i staden (ibid.).

Landskapsarkitektens roll för ekosystemtjänster i staden

Kolinlagring kan med olika verktyg främjas i små och stora skalor och tidiga och sena skeden i planeringsprocessen. Landskapsarkitekter är en av flera professioner som har kunskapen att arbeta med ekosystemtjänster i flera led i byggprocessen, däribland genom gestaltning (Green 2018). Att utbilda sig till landskapsarkitekt handlar dock inte bara om gestaltning utan också om såväl planering

som förvaltning (Sveriges arkitekter u.å.). Det är viktigt att tidigt i projektet ta hänsyn till ekosystemtjänster och kartlägga berörda ekosystem, hur dessa kan skyddas, utvecklas eller nyskapas (Boverket 2018). Kartläggningen av ekosystemtjänster redan i fördjupad översiktsplanering kan vara ett sätt att ta hänsyn till dem i planeringsprocessen (Keane et al. 2014).

Nature-based solutions (NbS), eller naturbaserade lösningar, kan med naturen som inspirationskälla presentera lösningar för stora samhällsutmaningar och ge mervärden för människa och miljö. Cohen-Shacham et al. (2016) menar i International Union for Conservation of Nature (IUCN) publikation *Nature-based Solutions to adress global societal challenges* att samhällsutmaningar så som klimatförändring kan arbetas med genom nyttjandet av ekosystemtjänster och en metod som kallas naturbaserade lösningar (NbS). Metoden syftar till att genom att bevara, hållbart nyttja och återskapa ekosystem presentera lösningar som genererar välmående för såväl ekosystem som människa. Denna typ av lösningar kan appliceras i flera olika skalor, i både ett urbant och ruralt sammanhang, genom att exempelvis bevara skogar som ett medel för bland annat klimatanpassning, biologisk mångfald och inkomstkälla eller generera renare luft, fördröja dagvatten och förbättrad livsmiljö för människor i städer genom att plantera gatuträd eller anlägga regnträdgårdar (ibid.).

Grön infrastruktur (GI) är ett av de verktygen som går under NbS, vilket gör att NbS därför kan ses som ett metakoncept för många olika strategier (Cohen-Shacham et al. 2016). NbS som ett verktyg för att genom hållbar användning av skog och jordbruksmark lagra och binda kol har visat sig ha goda möjligheter att mildra klimatförändringarnas konsekvenser, men också städerna kan bidra och att intresset för urban kolinlagring genom NbS ökar (Bulkeley 2020). Kunskapen om hur NbS som verktyg kan appliceras på urbana områden för att främja kolinlagring är dock begränsad och kan utvecklas (ibid.).

Naturbaserade lösningar är inte lösningen för att minska mängden växthusgaser i atmosfären men kan fungera som ett komplement till utsläppsminskningar. Den totala mängden kol som den urban vegetationen kan inlagra är liten i förhållande till stadens utsläpp (Baró et al. 2014). Studier gjorda i Barcelona visar på att stadsgrönskan

visserligen kan inlagra mycket kol, men inte i relation till stadens ännu större utsläpp (ibid.). Dock kan stadsgrönskan ha större värden för andra ekosystemtjänster så som rekreation och mikroklimat (Baró et al. 2014).

Diskussionen är återkommande, i ett större perspektiv är kapacitet hos den urbana grönstrukturen är tillräcklig i förhållande till storleken på utsläppen de väntas ta hand om (Baró & Gómez-Baggethun 2017). Trädens förmåga till reglerande ekosystemtjänster kan istället ses på en mer lokal nivå, det vill säga, inom ett urbant grönområde eller liknande. Ur den synvinkeln bör därför källan, snarare än sänkan, vara fokus och grön infrastruktur som ett NBS-instrument bör istället ses som ett komplement till regleringar med syfte att minska utsläpp av växthusgaser (ibid.). Samtidigt som det är viktigt att skydda befintliga kolsänkor och därför förhindra avverkning i såväl tropiska länder som i gamla boreala skogar (Eklöf et al. 2009), bör grön infrastruktur som ett NBS-verktyg istället värderas utifrån alla olika ekosystemtjänster de kan bidra med och inte enbart de reglerande (Baró & Gómez-Baggethun 2017).

3.2 En introduktion till kolinlagring

Koldioxid från atmosfären lagras i växter och jord i ett komplext system. Genom fotosyntesen omvandlar växter vatten, solljus och koldioxid till kolhydrater, således är växternas tillskott till kolet i jorden det överlägset största (Singh 2018). Genom fotosyntesen bildas biomassa och särskilt rotbiomassan är viktig för ackumuleringen av organiskt kol i jorden (Ontl & Schulte 2012). Mängden organiskt kol i jorden byggs upp genom att rötter växer och dör (Ontl & Schulte 2012), av döda växt- och djurdelar (Kanerva 2020) och genom samspelet mellan rot och mikroorganismer, exempelvis mykorrhiza (Ontl & Schulte 2012). Kol lagras också i levande växtdelar och av allt bundet kol finns närmare 60 procent i de boreala skogarna, i svenska skogar återfinns merparten av allt kol i marken (Skogsstyrelsen 2020). När kol tas från atmosfären och lagras i exempelvis mark och biomassa kallas det för kolinlagring eller kolbindning och den mängd kol som finns i exempelvis ett träd vid tiden för mätning benämns

som dess kolförråd (Bulkeley 2020). Kolsänkan och kolkällan är varandras motsatser, den första bygger upp ett kolförråd genom att ta kol från atmosfären medan den senare gör tvärtom och avger kol vilket får atmosfärens kolförråd att växa (Heinonsalo 2020).

I *Kolguide - Översikt över kolet i marken och grunderna i kolbindande jordbruk* förklarar Kanerva (2020) att organiskt material består av döda växt och djurdelar vilka är mer eller mindre nedbrutna. Det organiska materialet, som till ungefär 50 procent består av organiskt kol, kategoriseras ofta utifrån hur snabbt eller långsamt det bryts och nedbrytningen kan ta mellan månader och flera hundra år. Nedbrytningshastigheten påverkas av såväl aggregatstruktur som reaktioner med mineraler, kol bundet till dessa strukturer är stabilt och har således betydelse för om markens kolförråd ökar eller minskar i storlek. Därtill gäller också att mindre partiklar och leraggregat kan hindra mer organiskt material från att brytas ned, både genom större sammanlagd partikelyta där materialet kan bindas och fysiskt skyddas inuti aggregat (ibid.). Dahlin⁷ förklarar att den låga syresättningen inne i aggregaten också är en bidragande faktor till att omsättningen av organiskt material i en finkornig jord med aggregatstruktur går långsammare. Differensen mellan mängden organiskt material och mängden kol som avges och tas ur jorden genom nedbrytning, erosion och avrinning är lika med halten kol i jorden (Kanerva 2020). Samtidigt är även mer lättnedbrytbart organiskt material också högst väsentligt för markprocesserna och förser såväl växter som markorganismer med näring (ibid.) något som Dahlin⁸ menar har en indirekt verkan på kolhalten eftersom växternas ökade fotosyntes och produktion till följd av god närings- och vattentillgång främjar tillväxt av biomassa och därmed ett ökat flöde av kol i både ovan- och underjordiska system.

Geografiska skillnader

Kolinlagring och kolförrådets storlek beror av omgivningsfaktorer och växtegenskaper. Hur mycket organiskt bundet kol som finns i en jord varierar mellan

7 Sigrun Dahlin, forskare, SLU, intervju 2021-03-17

8 Sigrun Dahlin, forskare, SLU intervju 2021-03-17

geografiska platser (Eriksson et al. 2011). Tillgången på vatten, näring, ljus och rätt temperatur är bara några av de faktorer som påverkar processen (Singh 2018) men generellt går det att säga att svala, fuktiga klimat har goda förutsättningar för kolinlagring (Kanerva 2020). De varierande årstiderna på högre latituder har också stor inverkan på växternas förmåga till fotosyntes och så ledes också kolcykeln (Singh 2018). I ett nordligt, och under stora delar av året kallt klimat, går nedbrytningen långsamt varför produktionen genom fotosyntes ändå är större och genererar jordar med förhållandevis höga halter av organiskt kol (Ontl & Schulte 2012). För att få kolförrådet i marken att växa måste antingen nedbrytningen av organiskt material gå långsammare eller tillflödet och lagringen i stabila förråd öka (Juuso & Tuomas 2020).

Kolinlagring i staden

Stadens jordar skiljer sig från traditionella jordar men kan ändå agera som kolsänkor. Brown et al. (2012) hävdar att de urbana jordarna är så olika de traditionella jordarna att det inte är relevant att se på jordmänsbildning eller hur kol inlagras i urbana jordar genom traditionella glasögon. Ledningar, byggnationer och ogenomsläppliga ytor är bara några av de störningar som en urban jord utsätts för och som har stor påverkan på den (ibid.). I staden finns kol lagrat även under byggnader och hårdgjorda ytor och hur stort kolförrådet är beror av en mängd faktorer, exempelvis förvaltning av vegetation och bebyggelsestäthet (Churkina 2012). Av sina studier på jordar i USA kan Brown et al. (2012) dra slutsatsen att kolförråd i urbana jordar är små men om än inte obetydliga som kolsänkor.

3.3 Kolinlagring i mark

Biokol: jordförbättrande kolsänka

Biokol är i sig en kolsänka vilken också kan möjliggöra för goda växtförhållanden i utmanande urbana växtmiljöer. Av upphettad biomassa framställs biokol, en produkt som stabiliserar det kol som växterna lagrat in och vilken potentiellt kan fungera som ett jordförbättrande substrat i jordbruket och i kampen mot klimatförändringarna (Sohi 2012).

Embrén⁹ och Stål¹⁰ är överens om att biokol, blandat med kompost och makadam, kan ersätta traditionell växtjord och erbjuda liknande egenskaper för en god växtmiljö i städer där förutsättningarna för kultivering, skötsel ekonomi, samt kraven på bärighet, ser annorlunda ut. Embrén¹¹ tror att biokolen går en ljus framtid till mötes. Han menar att förutom att den kan produceras lokalt och berika åkerjordar kan det också vara en komponent i ett hållbart alternativ till traditionell jord som idag innehåller ändliga naturgrusresurser och torv. Embréns¹² mångåriga erfarenhet av arbete med biokol visar att substratet främjar rotutveckling genom strukturbildning och porositet och kan göra det möjligt för mikroliv att ta skydd undan rovdjur. Embrén¹³ och Stål¹⁴ är också överens om att biokol, förutom att främja tillväxt hos växter, också har potential att utgöra en urban kolsänka och att det kan komma att i större utsträckning användas i det syftet i framtiden.

Biokol har jordförbättrande egenskaper och direkt och indirekt påverkan på jordens kolförråd. Merparten av tillsatt biokol, som har en mycket långsam nedbrytningshastighet, kommer finnas kvar i århundranden och har därför stor direkt inverkan på kolförrådet i jorden (Wang et al. 2016). Wang et al. (2016) hävdar att eftersom biokolet också har jordförbättrande egenskaper kan det ge ökad tillväxten hos plantorna, både ovan och under jord, och därmed leda till ytterligare kolinlagring.

I syfte att inlagra kol finns det ingen övre gräns för hur mycket biokol som kan tillsättas en växtbädd men fraktionsstorleken måste tas hänsyn till för säkerställa en god växtmiljö i kombination med kolinlagring, det menar Embrén¹⁵ och Stål¹⁶ i intervjuer. Både Embrén¹⁷ och Stål¹⁸ förklarar att biokolen kan binda både vatten och näring, vilket kan förhindra näringsläckage men också orsaka

9 Björn Embrén, universitetsadjunkt, SLU, intervju 2021-03-09
10 Örjan Stål, universitetsadjunkt, SLU, intervju 2021-03-08
11 Björn Embrén, universitetsadjunkt, SLU, intervju 2021-03-09
12 Björn Embrén, universitetsadjunkt, SLU, intervju 2021-03-09
13 Björn Embrén, universitetsadjunkt, SLU, intervju 2021-03-09
14 Örjan Stål, universitetsadjunkt, SLU, intervju 2021-03-08
15 Björn Embrén, universitetsadjunkt, SLU, intervju 2021-03-09
16 Örjan Stål, universitetsadjunkt, SLU, intervju 2021-03-08
17 Björn Embrén, universitetsadjunkt, SLU, intervju 2021-03-09
18 Örjan Stål, universitetsadjunkt, SLU, intervju 2021-03-08

näringsbrist om biokolen inte är näringspreparerad. Om syftet är att förbättra växtförhållandena visar Embréns¹⁹ erfarenheter och studier han tagit del av att upp till 25% biokol är positivt för växterna medan det därefter inte har någon ytterligare effekt. Är syftet däremot inte enbart att förbättra för växterna utan att också inlagra kol hävdar han att det är möjligt att odla växter i enbart biokol men då med hänsyn till att fraktionerna måste vara grövre för att inte riskera att få en förtätning.

Funktionell diversitet

För att förstå ett ekosystem är det också viktigt att förstå den funktionella diversitetens roll i systemet (Tilman 2001). Inom forskningsfältet för funktionell diversitet, med bland annat tidiga namn som Darwin och Charles Elton, finns extensivt underlag som tyder på att den funktionella diversiteten är en förutsättning för ett fungerande, produktivt, resursdynamiskt och stabilt ekosystem (ibid.).

Funktionell diversitet kan beskrivas som de olika egenskaperna som arterna inom ett ekosystem har, vilka påverkar exempelvis näringsbalansen och produktiviteten inom det (Tilman 2001). Varje art har individuellt ett flertal egenskaper och sinsemellan skiljer sig deras olika egenskaper åt, i ett artrikt ekosystem är den sammanlagda mängden egenskaper stor och systemet kan därför också sägas ha en hög funktionell diversitet. Arter med liknande funktionella egenskaper kan inom den funktionella diversiteten också delas in i samma funktionella grupp. Därför kan ett ekosystem med stor artdiversitet, och därmed stor funktionell diversitet, också antas ha ett stort antal funktionella grupper (ibid.).

Hypoteser för funktionell diversitet

En arts funktionella egenskaper kan ha större eller mindre påverkan på ekosystemet i vilken den återfinns. Mycket tyder på att den dominerande arten och dess egenskaper har en betydande roll för det specifika ekosystemets funktioner och att det därför går att uppskatta specifika arters bidrag till exempelvis kolinlagringsförmåga hos ett ekosystem genom att titta på andelen biomassa det bidrar

19 Björn Embrén, universitetsadjunkt, SLU, intervju 2021-03-09

med till systemet (Grime 1998). Denna teori kallad *The mass ratio hypothesis* beskriver att ekosystemets funktion avgörs av egenskaperna hos de dominerande arterna och att förändringar i artdiversitet spelar mindre roll så länge den dominerande arten förblir dominerande. De arter i ett ekosystem som inte är dominerande kan istället, med sina specifika egenskaper, bidra till ett mer effektivt resursutnyttjande och på så sätt också öka den totala produktiviteten (ibid.). En annan teori bygger på att arter, tack vare sina olika egenskaper, också kan nyttja olika delar i systemet, olika nischer, utan att konkurrera med varandra (Tilman 2001).

Funktionell diversitet och kolinlagring

Exempel på betydelsen av funktionell diversitet på kolinlagringsförmåga skildrar Tilman et al. (2006) i sina experiment på gräsmarker i vilka de har kunnat visa att en komposition av flera olika arter ger större inlagring av kol i både jorden och plantornas rotsystem. I deras experiment där gräsmarksörter planterades i rutor med 1, 2, 4, 8 eller 16 olika arter kunde de se att diversiteten hade betydelse för förmågan att inlagra kol. Liknande paralleller kan dras i studier som också innefattar träd och buskvegetation och visar att också skötselåtgärder som uppehåller artvariationen kan motiveras med såväl kolinlagring som andra ekosystemtjänster (Chen et al. 2018).

Kolinlagringen hos örtartade växter är mycket liten i jämförelse med vedartade växter (Chen et al. 2018). En undersökning visade att träd ackumulerar mer kol än buskar genom att träden i studien under flera årtionden växte och lagrade kol, medan buskar inlagrade mycket kol under ett mindre antal år vartefter processen stannade av (Chen et al. 2018). I samma studie framgick det också att örtartade växter, som också är mindre effektiva kolinlagrare, kan användas som komplement till träd genom att fylla ut kvarvarande utrymme och på så sätt maximera växtbäddens kolinlagrande förmåga per areaenhet.

Funktionella egenskaper och mykorrhizasymbios

Ett flertal funktionella egenskaper har betydelse för kolförrådet i jorden. Framförallt de dominerande funktionella gruppernas egenskaper är avgörande för

den kolinlagrande förmågan i en specifik jord (De Deyn et al. 2008). Växternas olika funktionella egenskaper kan också komplettera varandra och göra att exempelvis ett ekosystem i en boreal och ljusfattig skog kan öka sin kolinlagringsförmåga genom skuggtålig undervegetation i kombination med ljuskrävande höga, täta trädkronor (ibid.). Även samspelet mellan arter och arters förmåga att bilda symbios med markorganismer som mykorrhiza, är viktiga för processen (ibid.). I italienska studier på popplar, *Populus* spp. visade det sig att mykorrhizas bidrag till kolförrådet var större än det från både löv och nedbrutna finrötter (Godbold et al. 2006). Mykorrhiza kan påverka kolinlagringen genom sin förmåga att stabilisera aggregat och genom att fungera som en förlängning av rötterna som kan ta upp näring och vatten åt växten, vilken i sin tur kan binda mer kol genom ökad tillväxt²⁰. Samtidigt som maskar, myror och andra organismer i jorden rör om och omfördelar kolet, vilket leder till nedbrytning och kolförlust, främjar det också en ökad produktivitet och därtill möjligheterna för ökat kolupptag hos växterna (De Deyn et al. 2008).

Rotutbredning och fallförna

Rotutbredningen har i flera studier visat sig ha betydelse för kolinlagringen i jorden, så även fallförna, även om en stor del av det senare återgår till atmosfären i nedbrytningsprocessen. Extensivt underlag för städsegröna trädets effekt på kolinlagringen i stadens grönytor saknas, men prover tagna i urbana grönområden i Finland visar på att jorden under barrträd innehöll något mer kol än den under lövträd och markant mycket mer kol i jämförelse med prover tagna i gräsmatta (Setälä et al. 2016). Enligt samma studie kan en möjlig, men diskutabel förklaring till detta vara att fallna löv från lövträd i urbana miljöer ofta krattas ihop och tas bort, medan detsamma sällan gäller för också mer svårnedbrytbart växtavfall från städsegröna barrträd. Edmondson et al. (2014) menar däremot att resultat av studier ifrågasätter vilken påverkan det har på jordens kolförråd att löv under träd som en skötselåtgärd tas bort, istället menar Rasse et al. (2005) att koltillförseln till jorden troligen till större del beror av rötternas tillförsel

20 Sigrun Dahlin, forskare, SLU, intervju 2021-03-17

vilket också till viss del kan förklara de högre uppmätta värdena av organiskt kol under ask, *Fraxinus excelsior* i Edmondson et al. (2014) studie. Asken har, i jämförelse med exemplar av exempelvis skogsek, *Quercus robur* av samma storlek, ett större och mer snabbväxande rotsystem (Kerr & Cahalan 2004). Fallna löv som organiskt material är inte oviktigt i sammanhanget för kolinlagring, men i studier har det visat sig att den mängd kol som inte snabbt bryts ner utan långsiktigt kan lagras i jordens kolförråd är liten (Godbold et al. 2006). Dahlin²¹ menar dock att halten kol i jorden på sikt kommer att bli lägre om inflödet genom bland annat fallförna, minskar. Hon menar att fallförna tillsammans med rotförna och rhizodeposition, som är den process genom vilken levande rötter avger föreningar, bland annat kol, vilket mikroorganismerna nyttjar och som delvis avsätts i stabila kolförråd, har en direkt påverkan på jordens kolförråd och om tillskottet av organiskt material från fallförna krattas bort utan att ersättas med något annat kommer det också att resultera i ett mindre kolförråd.

Flera källor är överens om att också växter med djupa rötter potentiellt kan ha en positiv effekt på kolförrådet i marken (Jobbágy & Jackson 2000; Eriksson et al. 2011), eftersom merparten av det organiska materialet återfinns grunt i jorden och växter med djupa rötter därför skulle kunna tillföra kol till djupare jordlager (Eriksson et al. 2011). På så vis kan förna från rötter och ett mikrobiellt liv kopplat till rhizodeposition spridas även på djupare jordlager²². Med ökat jorddjup möjliggörs också för större träd, med större kolinlagrande förmåga i mer biomassa, och därför också ett större kolförråd i vegetativa delar (Chan et al. 2018).

3.4 Kolinlagring i växter

I intervju och litteratur framgår det att specifika egenskaper hos träd främjar dess kolinlagrande förmåga i vegetativa delar. Studier på skogar visar att lägre veddensitet, som hos barrträd så som tall, *Pinus sylvestris* och gran, *Picea abies*, ger mindre mängd kol i biomassa i jämförelse med lövträd, så som bok, *Fagus sylvatica*, vilken har högre veddensitet

21 Sigrun Dahlin, forskare, SLU, intervju 2021-03-17

22 Sigrun Dahlin, forskare, SLU, intervju 2021-03-17

(Jandl et al. 2007). Niittyttä²³ förklarar att ek och bok är arter med hög veddensitet i motsats till den snabbväxande aspen och att veddensiteten har betydelse i sammanhanget för kolinlagring. Samtidigt har studier från Nya Zeeland också kunnat visa att trädets storlek står i direkt relation till den mängd kol det kan lagra in (Weissert et al. 2017) även om också tillväxttakten spelar roll (Hirons & Sjöman 2019). Resultat visar att det också går att dra paralleller mellan stamomkrets, biomassa och kolinlagring och att större stamomkrets därför också ger mer biomassa och större mängd inlagrad kol (Lahoti et al. 2020). Även om storleken på trädet har betydelse så har också vitaliteten en avgörande inverkan på trädets kollagrande förmåga (Kiss et al. 2015) och i det stora hela är det trädets mående och förväntade livslängd som avgör om det kommer kunna bidra med god kolinlagring eller inte (Hirons & Sjöman 2019). Niittyttä²⁴ menar att sjukdomar och skadeangrepp på träd på så sätt också har en indirekt inverkan på kolinlagringen och att det för en gestaltande landskapsarkitekt därför bör vara av största vikt att välja motståndskraftiga arter.

Trädets livslängd har också betydelse och långlivade trädarter framför mer kortlivade, exempelvis skogsek, *Quercus robur* istället för sötkörbär, *Prunus avium*, är enligt vissa studier de mest fördelaktiga att plantera om syftet är att lagra in kol (Sunderland et al. 2012). Undersökningar har också kunnat visa att bladarean hos träden, vilket påverkar dess primärproduktion, står i direkt relation till hur mycket kol de kan inlagra (Kiss et al. 2015). Samma studie förklarar dock att bladarean påverkas av hur trädet mår, dess ålder, hur soligt det står och hur det sköts och är således inte enbart ett resultat av den specifika artens kronkaraktär.

Rätt träd på rätt plats

Städernas träd är klimatförändringens motståndare, men för att kunna bidra med ekosystemtjänster måste träden hållas friska (Kiss et al. 2015). Mätningar med verktyget i-Tree Eco har kunnat visa hur mycket kol träden i olika svenska städer binder och resultatet visar på att det inte alltid är den vanligaste förekommande arten som inlagrar mest kol

23 Totte Niittyttä, universitetslektor, SLU, intervju 2021-03-25

24 Totte Niittyttä, universitetslektor, SLU, intervju 2021-03-25

totalt (Deak Sjöman & Östberg 2020). I Stockholm inlagras till exempel skogsek, *Quercus robur* mer kol än tall, *Pinus sylvestris*, trots att tallen utgör en mer än dubbelt så stor del i den totala förekomsten i jämförelse med skogseken. Detta kan förklaras av att också mängden bladmassa och trädens storlek och mående har betydelse (ibid.).

Den urbana livsmiljön ställer krav på hög stresstolerans och begränsningarna i livsmiljön är viktiga att ta hänsyn till vid val av art (Scharenbroch 2012). Träd som utsätts för någon typ av stress, exempelvis torka eller extremvärme inlagras mindre kol och därför är det också viktigt att kunna erbjuda en fullgod växtbädd (McPherson & Simpson 1999). Studier har kunnat visa att trädens kollagrande förmåga minskar om de beskärs eftersom trädet då förlorar en del av sin biomassa (Kiss et al. 2015). Det är därför viktigt att välja trädarter med omsorg, eftersom välmående och för platsen väl anpassade arter inte behöver beskäras och därför i större utsträckning kan bidra med ekosystemtjänster (ibid.). Fel träd på fel plats kan istället kräva beskärningsåtgärder vilket i slutändan kan resultera i utsläpp av koldioxid (McPherson & Simpson 1999). Niittylä²⁵ menar att det för landskapsarkitekten, vid val av art, troligen är viktigare att ta hänsyn till stressfaktorer i den urbana miljön och förväntningarna på att snabbt se fullstora träd, än att enbart se till den kolinlagrande förmågan hos arten.

Avvägning av växtstrategier

Olika växtstrategier har betydelse för kolinlagringen men platsspecifika förutsättningar bör avgöra valet av art. I en intervju menar Niittylä²⁶ att tillväxthastigheten hos en trädart är avgörande för hur mycket kol den kan inlagra, vilket enligt honom också är den viktigaste egenskapen i sammanhanget för kolinlagring i växter. I en jämförelse illustreras hur ett snabbväxande träd som goliatpoppel, *Populus x canadensis* 'Robusta', under kortare tid inlagras mycket kol, men att den mer långsamväxande, långlivade sockerlönnen, *Acer saccharum*, kommer hinna inlagra mer kol under sin totala livstid (McPherson & Simpson 1999).

25 Totte Niittylä, universitetslektor, SLU, intervju 2021-03-25

26 Totte Niittylä, universitetslektor, SLU, intervju 2021-03-25

I städer som byggs ut och byggs om är det också viktigt att skydda och bevara gamla träd eftersom dessa fungerar som kolsänkor (Lahoti et al. 2020). Att redan i stadsplaneringen möjliggöra för kolsänkor genom att lämna plats åt grönytor och maximera mängden växter där utrymmet finns, men också att fundera över en gestaltnings livslängd och om det i situationen är mer fördelaktigt att välja ett snabbväxande träd än ett långsamväxande, kan också ha betydelse för storleken på kolförrådet (McPherson & Simpson 1999). Genom att i första hand välja träd som lever länge och växer sig stora ges också möjligheter för nettokolinlagring (Nowak et al. 2002). Dock spelar också tillväxttakten in eftersom ett snabbväxande träd under ett mindre antal år kan lagra mer kol än ett långsamväxande, vilket har betydelse om båda träden skulle dö i förtid (ibid.). På så sätt kan val av långlivade trädarter, som snabbt eller medelsnabbt växer sig stora och som kräver lite skötsel, motiveras (ibid.).

Exemplväxter med kolinlagrande egenskaper

Förstudien har visat att ett antal egenskaper hos växter har inverkan på den totala mängden inlagrat kol i en anläggning. Generellt gäller dock att större mängd biomassa resulterar i större mängd inlagrat kol i vegetativa delar (Velasco et al. 2016; Lahoti et al. 2020) varför det går att, i enlighet med Chan et al. (2018) resonemang, säga att träd som grupp är bäst på att inlagra kol. Även buskar kan lagra mätbara mängder kol i sin biomassa och de är viktiga för att maximera mängden total biomassa och inlagrat kol (Chan et al. 2018) och för att främja en funktionell diversitet (Chen et al. 2018).

Tack vare sin snabba tillväxt kan vissa arter under ett mindre antal år lagra förhållandevis mycket kol enligt intervju²⁷ och litteratur (McPherson & Simpson 1999; Nowak et al. 2002). Rönn, *Sorbus aucuparia*, ornäsbjörk, *Betula pendula* 'Dalecarlica', klippal, *Alnus glutinosa*, japansk lärk, *Larix kaempferi*, vitpil, *Salix alba* 'Saba', sälg, *Salix caprea*, och näverhägg, *Prunus maackii*, är exempel på snabbväxande och ljuskrävande arter (Sjöman & Slagstedt 2015; Tönnersjö plantskola 2017) vilket i flera av fallen också avspeglar sig i att träden sällan uppnår en särskilt hög

27 Totte Niittylä, universitetslektor, SLU, intervju 2021-03-25

ålder (Naturhistoriska riksmuseet 2008; Sjöman & Slagstedt 2015). Flera av arterna är också pionjärarter (Sjöman & Slagstedt 2015; Hiron & Sjöman 2019), vilka i sin naturliga livsmiljö och successionsordningen, är först med att sprida sig och växa på öppen mark (Lennartsson 2013).

Sett till bokens, *Fagus sylvatica*, och skogsekens, *Quercus robur*, förmåga att inlagra kol har istället storlek (Kiss et al. 2015; Weissert et al. 2017; Hiron & Sjöman 2019; Lahoti et al. 2020), hög ålder (Sunderland et al. 2012; Hiron & Sjöman 2019) och slutligen, enligt litteratur (Jandl et al. 2007; Scharenbroch 2012) och intervju²⁸, veddensitet, betydelse. Bok, *Fagus sylvatica*, är en sekundärart och klarar därför att växa i skuggan under andra trädskronor (Sjöman & Slagstedt 2015). Efter ett tiotal år är det förhållandevis snabbväxande (Sjöman & Slagstedt 2015) och kan växa till ett både högt och brett träd (Tönnersjö plantskola 2017). Bok har i intervju²⁹ och litteratur (Jandl et al. 2007) också har lyfts fram som ett exempel på en art med hög veddensitet. Skogseken, *Quercus robur*, är ett långlivat, långsamväxande (Sjöman & Slagstedt 2015), stort träd (Hiron & Sjöman 2019) med hög veddensitet³⁰.

Studier har visat att djupa rötter kan ha betydelse för kolförrådet i jorden (Jobbágy & Jackson 2000; Eriksson et al. 2011) och exempel på arter med djup rotsystem är cembratall, *Pinus cembra*, svarttall, *Pinus nigra* (Billbäcks plantskola 2021), och svart valnöt, *Juglans nigra* (Hiron & Sjöman 2019). Blågran, *Picea pungens* 'Glaucua' (Billbäcks plantskola 2021), avenbok, *Carpinus betulus*, katsura, *Cercidiphyllum japonicum* och jättemlock, *Tsuga heterophylla* (Hiron & Sjöman 2019), har istället grunda rotsystem. Artdiversitet och funktionell diversitet, genom olika växters sätt att nyttja resurserna i marken, har dock visat sig ha positiv inverkan jordens kolförråd (Grime 1998; Tilman 2001), varför också en blandning av olika växtstrategier är viktigt.

Skötselns betydelse för nettokolinlagring

Val av skötselmetoder har betydelse för om ett träd binder eller genererar koldioxid. Nowak et al. (2002) förklarar att ett

28 Totte Niittylä, universitetslektor, SLU, intervju 2021-03-25

29 Totte Niittylä, universitetslektor, SLU, intervju 2021-03-25

30 Totte Niittylä, universitetslektor, SLU, intervju 2021-03-25

träds maxstorlek, livslängd och tillväxttakt avgör storleken på koldioxidupptaget, medan sättet trädet förvaltas på också avgör storleken på koldioxidutsläppen. De förklarar att utsläppen av koldioxid och inlagringen av kol i vegetativa delar slutligen kommer vara så gott som lika stora, när ett träd dör eller tas ner och bryts ner återgår nämligen merparten av biomassans inlagrade kol till atmosfären och när skötselmetoderna också genererar utsläpp motverkar det nyttan av trädet som en kolsänka. Därför menar de att artval, val av skötselmetoder och trädets användningsområde efter att det tagits ner, avgörande för om trädet i slutändan kommer kunna betraktas som en netto-kolsänka eller inte.

Det är viktigt att genom planering möjliggöra för ett träd att, med minsta möjliga nödvändiga skötsel, nå sin fulla potential beträffande ålder och storlek för att också dra maximal nytta av det som kolinlagras (Nowak et al. 2002). Dock har inte all skötsel negativ påverkan på nettoinlagringen eftersom god etableringsskötsel och tidig beskärning kan förlänga trädets liv och därmed också mängden kol det kan inlagra. Rätt träd på rätt plats och väl avvägda skötselåtgärder är därför viktiga faktorer att ta hänsyn till om syftet är att ta upp koldioxid (ibid.).

En intensivt skött gräsmatta lagrar mer kol än en ängsgräsmatta men skötsel av den ger ett nettoutsläpp av koldioxid. Studier har kunnat visa att högre skötselintensitet hos en gräsmatta ökar kolinlagringen (Poeplau et al. 2016). I försöken jämfördes traditionella, intensivt skötta gräsmattor med mindre skötselkrävande gräsmattor av ängskaraktär. Resultatet visade att en gräsmatta som klipptes ofta producerade mer biomassa och därigenom också mer bundet kol. Liknande resultat visar att nyttan av intensiv skötsel av gräsmattor, sett till den ökade kolinlagringen, äts upp av utsläpp från gräsklippare och att det därför är viktigt att fundera över skötselåtgärder för att kunna säkerställa en nettokolinlagring (Whittinghill et al. 2014). Samtidigt kan mulch, det vill säga komposterat växtavfall (McPherson & Simpson 1999), som läggs på en yta avge mer koldioxid än en gräsmatta och det kan därför vara bättre att fylla ut sådana ytor med perenner (Hundertmark et al. 2021). Behovet av extra näringsgivor och stödbevattning kan däremot minska om mulch tillsätts

till växtbäddarna vilket därmed också indirekt kan leda till minskade utsläpp kopplat till skötsel (McPherson & Simpson 1999).

3.5 Naturvägledning

Nedan redogörs kort för naturvägledning som verktyg, dess syfte och utvalda guidningsmetoder.

Naturvägledning; inte bara fakta

Naturvägledning är ett gränsöverskridande verktyg för att främja flera ekosystemtjänster. Naturen är en källa till kunskap och till hälso nytta för människan genom *mentalt välbefinnande* och *kunskap och inspiration* som kulturella ekosystemtjänster (Boverket 2019). Med naturvägledning som verktyg finns möjlighet att arbeta med båda dessa ekosystemtjänster, Arnell et al. (2009) har nämligen i sina undersökningar av naturvägledningen som metod sett att målsättningarna hos intervjuade naturvägledare är såväl folkhälsa och rekreation som intresse, kunskap, förståelse och engagemang för natur- och miljöfrågor. Att utöva viss påverkan på besökarens inställning och beteenden gentemot natur- och kulturlandskapet är således också någonting som naturvägledningen ämnar till (SLU 2020c). Naturvägledning som begrepp handlar om att skapa känslomässiga band till naturen, utöver att sprida kunskap om den och detta kan göras genom såväl guidning som utställning och till exempel skyltning längs en stig (Arnell et al. 2009).

Funktion för förändring

Naturvägledning kan fungera som ett verktyg för att kommunicera hållbar utveckling. Naturvägledning, som ett verktyg för att väcka känslor och uppmuntra till att värna om naturen, tog fäste i natur- och kulturvården redan vid förra sekelskiftet, även om dess utveckling som begrepp och medel på riktigt tog fart först under andra halvan av 1900-talet (Arnell et al. 2009). Sedan millennieskiftet, och det ökade intresset för friskvård i naturen som följde där efter, är naturvägledningen som verktyg vida spritt också i undervisningssyfte (Arnell et al. 2009). När Nordiska ministerrådet (1990) tog sig för att definiera och formulera

grundpelarna, för vilka naturvägledningen som begrepp stod på, endes de om att själva syftet med metoden består i att låta naturen sätta gränser för ett hållbart friluftsliv, samhällsutveckling och nyttjande av naturresurser samt bidra till att sprida kunskap om hur människan genom sitt agerande påverkar naturen och ekosystem. Riktat till både individ och samhälle består målen i att ingjuta förståelse för att också människan tjänar på att ta hand om miljön och att hon är en del i ett större ekologiskt sammanhang (ibid.). Naturvägledare och de organisationer de verkar inom, strävar efter att kommunicera ekosystemtjänster och hur dessa påverkas av pågående klimatförändringar för att också sprida kunskap om hållbar utveckling, det visar en undersökning av Arnell et al. (2009).

Planering och utförande

Genom välskrivna skyltar kan ett element på en plats förmedla syftet med naturvägledningen till den valda målgruppen. Ett sätt att planera för naturvägledning kan vara att formulera mål, syfte, tema, identifiera målgrupp och välja plats och utse resurser, exempelvis ett gammalt träd, som är intressanta och kan förmedla någonting under det formulerade temat (Naturvårdsverket 2018). Hur kommunikationen sedan ska gå till finns det många metoder för (ibid.). Thomas Öberg skriver i Att skriva om natur (2011) om att lära sig att skriva bättre skylttexter och menar att texter som ska komplettera en utställning eller en utomhusmiljö ska på ett berättande sätt förklara det som inte är uppenbart för besökaren, ställa frågor och uppmana besökaren till att fundera vidare. Längs exempelvis självguidande stigar är skyltar med text allmänt förekommande även om tekniska lösningar för exempelvis mobiltelefoner blir allt vanligare (SLU 2020b). En QR-kod kan vara ett exempel på ett sådant verktyg för att vägleda och kan till exempel länka till ytterligare information (SLU 2021c).

3.6 Den gestaltande landskapsarkitektens verktyg för att främja kolinlagring i urbana vegetationsytor

Mot bakgrund av förstudiens litteratursammanställning och intervjuer ges här nedan ett antal generella förhållningspunkter för att främja, och på sikt bibehålla, ett kolförråd i urbana vegetationsytor.

- Välj sjukdomsresistenta och vitala arter
- Välj rätt växt för platsen
- Spara befintliga träd
- Möjliggör för, och bibehåll, en funktionell diversitet genom artdiversitet
- Tillför eller lämna kvar organiskt material som tillskott till jordens kolförråd och näring till markorganismer och växter
- Tillsätta biokol för direkta och indirekta effekter på kolförrådet genom att det i sig utgöra en kolsänka samtidigt som det har jordförbättrande egenskaper

Förstudiens sammanställning av litteratur och intervjuer visar också att ett antal egenskaper hos växter har inverkan på den totala mängden kol de kan inlagra. Här nedan sammanställs därför ett antal egenskaper hos växter som den gestaltande landskapsarkitekten kan arbeta med för att främja kolinlagring.

- Stora trädarter
- Hög veddensitet
- Snabb tillväxttakt
- Lång livslängd
- Djupa rötter



Figur 8. Principillustrationen visar hur formulerade förhållningspunkter i avsnitt 3.4 är tänkta att fungera som ett verktyg i kombination med andra värden i en gestaltning.

4. Designfas

I designfasen redogörs för gestaltungsprocessen. Först presenteras resultatet av inventeringen utifrån platsen koppling till omgivningen, befintlig vegetation och möjligheter till rekreation. Därefter analyseras inventeringen utifrån samma tre punkter. I nästa avsnitt formuleras och beskrivs programpunkterna för gestaltningen ingående. Slutligen redogörs för gestaltungs-konceptet och hur det har utvecklats.

är sötkörbär, *Prunus avium* (figur 12), även om också släkten som exempelvis lönn, *Acer* spp., och arter som hästkastanj, *Aesculus hippocastanum*, bok, *Fagus sylvatica*, och skogsek, *Quercus robur*, också förekommer. På platsen finns flera yngre träd där ett fåtal exemplar har skador på stam eller har helt sågats ner och istället skjutit nya skott från basen (figur 11).

I inventeringen noterades två större blandbuskage inom fallstudieområdet bestående av bland annat rosor, *Rosa* spp., slån, *Prunus spinosa*, och prakthäggmispel, *Amelanchier*



Figur 11. Stammaskada på ungt exemplar av skogsek, *Quercus robur*.



Figur 12. Vitalt, äldre exemplar av sötkörbär, *Prunus avium*.



Figur 13. Grill med tillhörande bänk.

lamarckii (figur 14). Mot den sydligare parkeringen finns också lägre buskplanteringar och grillplatsen omges av en syrenberså. Förutom det utgörs markvegetationen mest av klippt gräs. Därtill uppvisar omgivningarna en stor variation av växter. I väster, längs Ulls allé, växer fyra rader av skogsek, *Quercus robur*, i busk- och perennplanteringar och på åsen öster om fallstudieområdet växer tätt med tall, *Pinus sylvestris*. Närliggande visningsträdgårdar har också en mångfald av växter med katsura, *Cercidiphyllum japonicum*, som ett exempel.



Figur 14. Blommande slån, *Prunus spinosa*, i befintligt buskage.

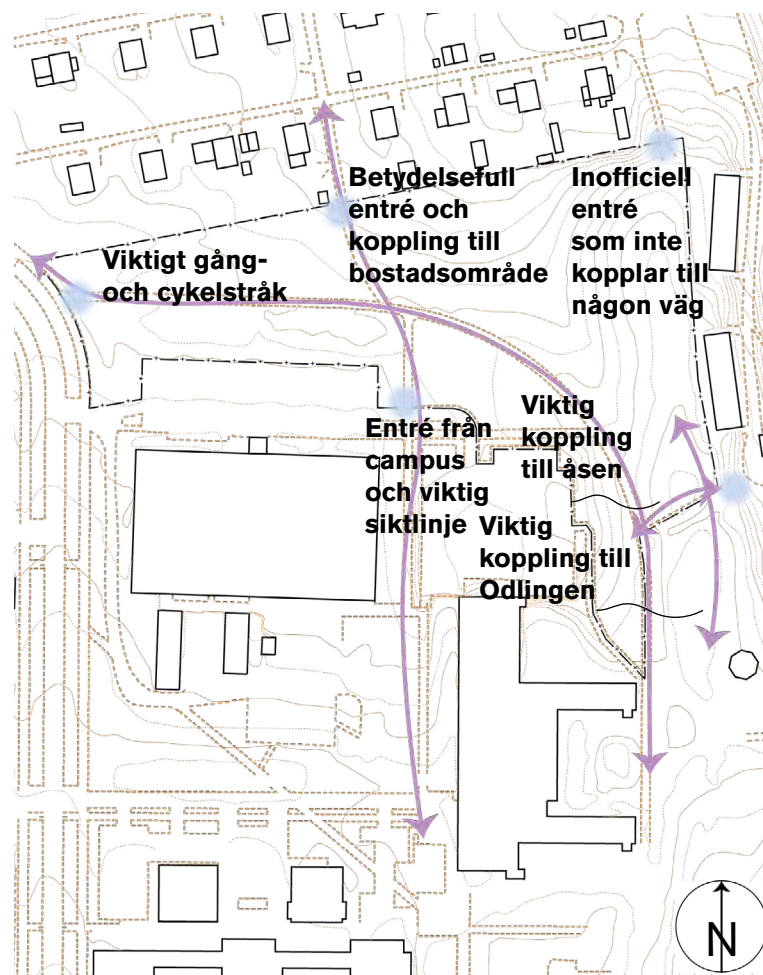
4.2 Analys

I följande analys av inventeringen beskrivs platsen i ord och bild utifrån dess möjligheter för rekreation, lärande och ytterligare kolinlagring. Utvecklingspotential och eventuella svårigheter diskuteras. Resonemangen i analysen grundar sig i den underliggande förstudiens (kapitel 3) resultat.

Teckenförklaring: koppling

—•—•— Arbetsområdesgräns

—•••— Vägkant



Figur 15. Analysplan: kopplingar. Ej skalenlig. Underlag: Baskarta © Uppsala kommun (CC-BY), bearbetad av författaren.

Koppling

Ett staket hindrar idag besökare från att ta sig från fallstudieområdet och in i Odlingen, men sambandet mellan visningsträdgårdarna och fallstudieområdet skulle kunna stärkas genom att öppna upp och på så sätt bjuda in besökare och bidra till campusmiljön som en helhet. Befintliga entréer är viktiga eftersom de knyter samman campusområdet och bostäderna norr om det men de skulle också kunna tydliggöras för att ytterligare markera platsen och bjuda in till den (figur 15).

Gång- och cykelvägar genom området är viktiga att bevara för att fortsatt låta platsen utgöra en länk mot staden och omkringliggande bostäder (figur 15). Däremot skulle också alternativa vägar som uppmuntrar till att stanna till och upphålla sig på platsen kunna stärka dess roll som rekreativ miljö.

Vegetation och rekreation

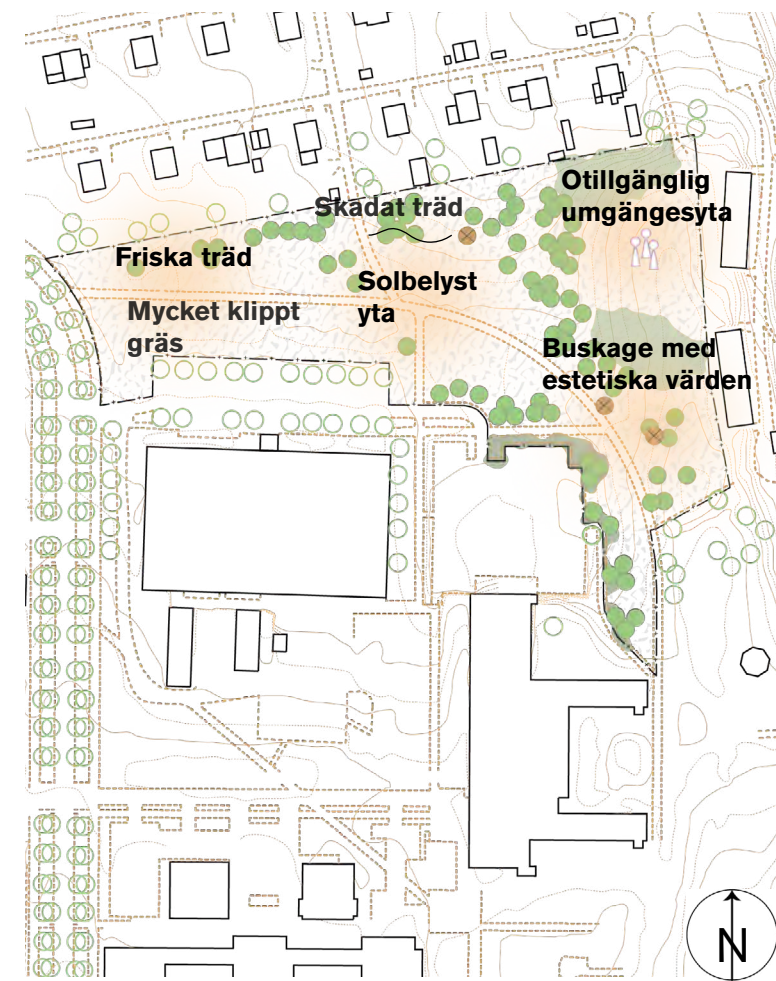
Analysen av inventeringen visar att platsen, förutom stora solbelysta potentiella ytor för rekreation och flertalet stråk till närliggande universitetsbyggnader, också har förutsättningar att lagra kol i enlighet med den information som framkommit i förstudien. Exempelvis bok, Fagus sylvatica, och skogsek, Quercus robur, förekommer inom fallstudieområdet har flera av de egenskaper som också visat sig främja kolinlagring i växter. I analysen (figur 16) bedöms buskagen ha ett estetiskt värde och, i enlighet med resultatet av förstudien, potentiellt också ett värde för platsens kolförråd. De stora, skötselkrävande, klippta gräsytorna bedöms kunna resultera i utsläpp från skötselmaskiner som skulle kunna undvikas.

Idag finns det få möjligheter att nyttja platsen för rekreation men med ett flertal entréer och gång- och cykelvägar förbi och igenom platsen bedöms den ha god potential att fungera som en plats för umgänge och vila. Grillplatsen går inte att nå från gång- och cykelvägen, bjuder inte in till vistelse och ger intrycket av att vara privat.

Teckenförklaring: vegetation och rekreation

—•—•— Arbetsområdesgräns

—•••— Vägkant



Figur 16. Analysplan: vegetation och rekreation. Ej skalenlig. Underlag: Baskarta © Uppsala kommun (CC-BY), bearbetad av författaren.

4.3 Program

Det här examensarbetet undersöker hur landskapsarkitekten genom gestaltning kan möjliggöra för och förmedla nyttan av kolinlagring i multifunktionella urbana vegetationsytor. Därav blir gestaltningsförslagets syfte att visa på vilket sätt förstudien underlag kan vara användbart för den gestaltande landskapsarkitekten. Med utgångspunkt i analys, litteraturoversikt, intervjuer och syntesen av förstudien i avsnitt 3.6, presenteras här nedan tre programpunkter vilka gestaltningen sedan bygger på.



Kolinlagring i vegetationsytor

- I möjligaste mån spara befintliga, och vitala träd och buskar.
- Maximera mängden vegetation genom att arbeta med växter i flera lager.
- Genom en tillåtande gestaltning möjliggöra för att fallförna ska kunna lämnas kvar.
- Använda biokol som kolsänka och jordförbättrare.
- Välja arter med egenskaper som främjar kolinlagring.



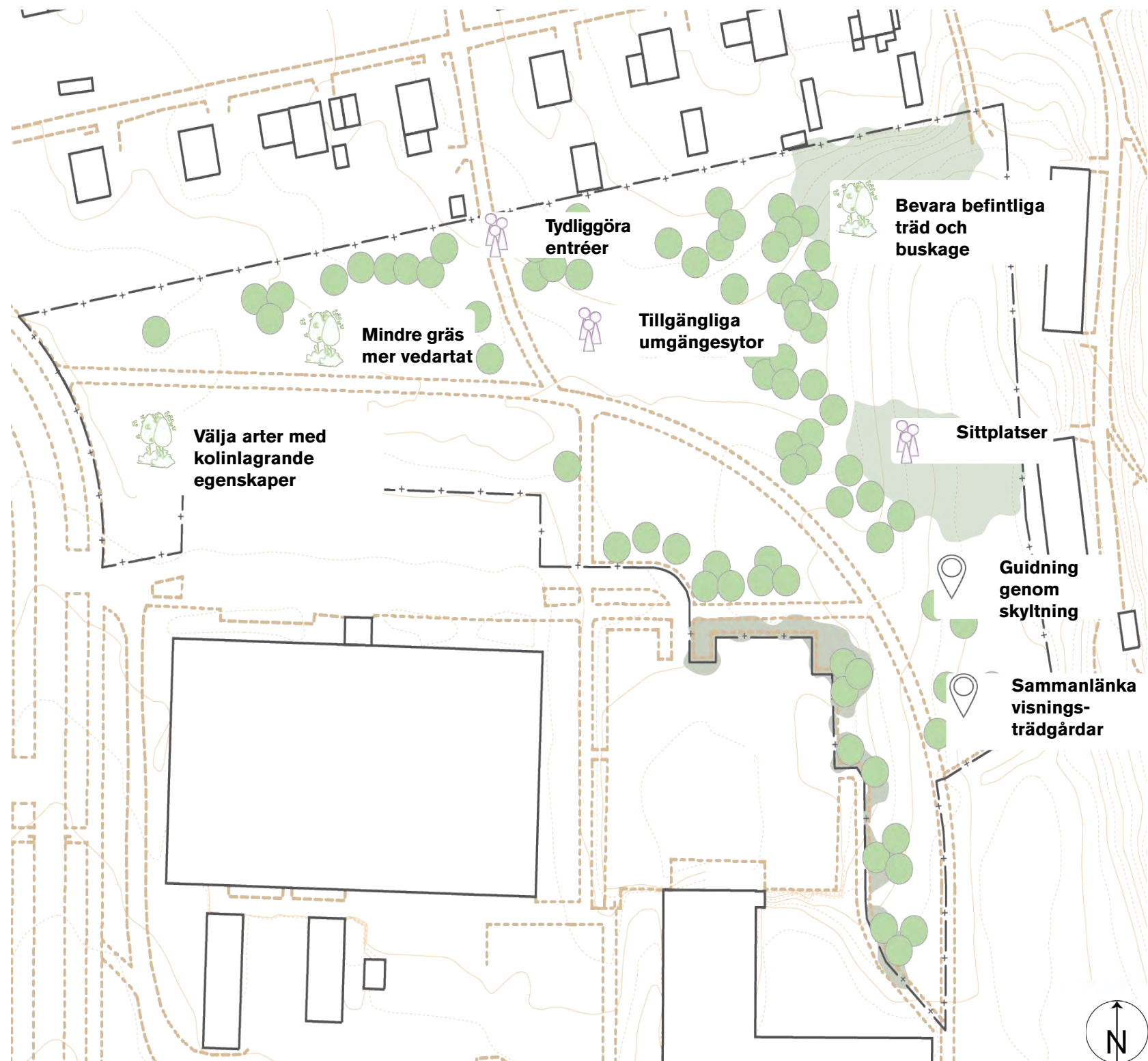
Vila, umgänge och rekreation

- Planera för inbjudande sociala ytor i soligt läge.
- Erbjud sittplatser intill variationsrika planteringar.
- Bjuda in till platsen genom tydligare entréer.



Lärande och pedagogik

- Informera om kolinlagring genom skyltar på en självguidande stig
- Öppna upp mot intilliggande visningsträdgårdar



Figur 17. Programplan. Ej skalenlig. Underlag: Baskarta © Uppsala kommun (CC-BY), bearbetad av författaren.

Programbeskrivning

Nedan beskrivs programmets tre delar ingående utifrån förstudiens resultat (kapitel 3) och platsanalysens underlag (avsnitt 4.2).

Kolinlagring i vegetationsytor

Med utgångspunkt i förstudiens resultat (kapitel 3) och den formulerade syntesen av det i avsnitt 3.6, syftar programpunkten *Kolinlagring i vegetationsytor* till att skapa förutsättningar för kolinlagring på inom fallstudieområdet. Befintliga träd är kolsänkor och även buskar kan bygga upp ett kolförråd och därför sparas befintlig vedartad vegetation i största möjliga utsträckning, med hänsyn till gestaltningen (figur 9,12,14,16). Eftersom hänsyn måste tas till platsen, som en av de generella förhållningsreglerna för gestaltning med kolinlagring som fokus, kan buskarna dock behöva beskäras. Skadade träd (figur 9,11,16) behöver också tas ner, med hänsyn både till dess begränsade kolinlagrande förmåga och utformningen i gestaltningsförslaget. Genom att nyttja växters olika växtstrategier och egenskaper kan undervegetation ge maximal mängd växter i ytan och därmed också bidra till ett större kolförråd, dock måste även detta ske med hänsyn till siktlinjer och utformningsförslag. Arter till buskskiktet väljs dock främst utifrån estiska värden även om det, trots få studier som underlag, möjligen kan antas att större buskar, med också mer biomassa, lagrar mer kol än små buskar, i enlighet med studier (Velasco et al. 2016; Lahoti et al. 2020) på träd som visar på det sambandet. Platsen utformas också på ett sådant sätt att fallna löv och döda växtdelar kan få ligga kvar i växtbäddarna utan att intrycket av dem påverkas, något som buskar i undervegetationen anses lämpa sig bra för. Alla växtval görs, som en av de generella förhållningspunkterna för gestaltning med avsikt att främja kolinlagring, med hänsyn till platsen sett till såväl växtzon, befintligt utrymme som dess skuggverkan på intilliggande trädgårdar.

Vila, umgänge och rekreation

Analysen (figur 16) visade att större delen av fallstudieområdet är solbelyst och den befintliga grillplatsen (figur 13) i det hänseendet har eftersträvningsvärda kvaliteter.

Däremot är den befintliga umgängesytan otillgänglig och upplevs som privat då den inte går att nå via någon gångväg. I gestaltningsförslaget är det därför viktigt att sociala ytor planeras så att de är synliga och lätta att ta sig till. På samma sätt bör entréer markeras för att på så sätt bjuda in till platsen och uppmuntra till vistelse. Träd bör också planteras så att de möjliggör för sittplatser både i sol och skugga.

Lärande och pedagogik

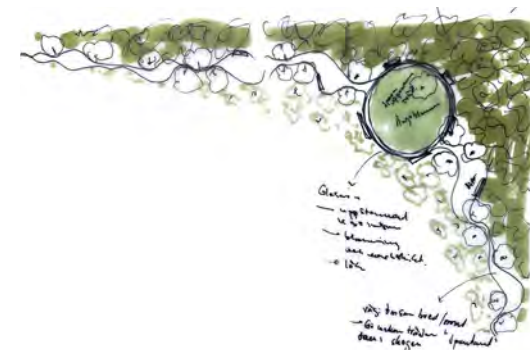
Analysen (figur 15) av platsen visar att en öppning i stängslet mellan Odlingen (figur 9) och fallstudieområdet skulle kunna koppla ihop visningsträdgårdarna (figur 5) och det stråk dessa tillsammans utgör och på så sätt möjliggöra för en större sammanhängande studiemiljö. Med utgångspunkt i Naturvårdsverkets (2018) arbetsprocess, förstudiens beskrivning av naturvägledning och de guidningsmedium som redogörs för (avsnitt 3.5), beskrivs här nedan målsättningen för hur den här gestaltningen, på ett pedagogiskt sätt, ska kunna berätta om kolinlagring.

På temat urbana kolsänkor, syftar en självguidande stig med skyltar till att informera om och skapa ett intresse för kolinlagring i växter och jordar som en ekosystemtjänst. Inom fallstudieområdet ska växter, skötselmetoder och växtbäddsubstrat få agera resurser för att förmedla kolinlagring. Längs stigen placeras skyltar som berättar om betydelsen av funktionell diversitet, stora träd, veddensitet, djupa rötter, tillväxttakt, biokol och organiskt material samt vikten av att bevara gamla träd. Målgruppen för guidningen är universitetsaktiva och andra vuxna besökare. Skylttexterna är en syntes av förstudiens resultat och ska ge en beskrivande och berättande introduktion till ämnet. QR-koder kan dessutom erbjuda ytterligare information och referenser till den som vill veta mer. Skyltarnas texter utformas enligt naturvägledningens filosofi, med förhoppning om att uppmuntra till beteendeförändringar och diskussion om klimatet och människans sätt att nyttja marken.

4.4 Arbetsprocess: gestaltningskoncept

I det här avsnittet beskrivs gestaltningens process mot ett gestaltningskoncept. Först redogörs för utgångspunkter i skissarbetet och tidiga skisser visar på ställningstaganden och beslut. Därefter presenteras det slutgiltiga gestaltningskonceptet.

Med utgångspunkt i frimärkesskisser och en-minutsskisser testades idéer för ett koncept och formspråk vilket sedan utvecklades i enkla, handritade planer och principskisser. Skissarbetet påverkades från start av den underliggande förstudien och de faktorer för kolinlagring som den visat. Gestaltningskonceptet visar därför på lärande och rekreation som sekundära funktioner, anpassade till en gestaltning med kolinlagring som utgångspunkt. I tidiga skisser testades gestaltningen utifrån en tanke om naturen som den överordnade vilken gör plats för människan, och inte tvärtom. Slingrande stigar som får anpassa sig efter trädens placering och ljusa öppningar i tät vegetation med plats för rekreation var idéer som går att följa genom hela arbetsprocessen (figur 18).



Figur 18. Utvecklad skiss visar en glänta och en slingrande stig.

Gestaltningenskoncept: Utrymme

Konceptet undersöker och problematiserar människans och stadens plats i naturen. Med inspiration från skogens variation i densitet, ljus och mörker ger konceptet ett formspråk där öppningar i krontaket släpper in ljuset och lämnar plats åt människan i det som annars är naturens domän.

5. Postdesignfas

I postdesignfasen presenteras gestaltungsförslaget i ord och bild. Först beskrivs gestaltningen i sin helhet utifrån en illustrationsplan. Därefter redogörs för val av trädarter, kopplat till de faktorer för kolinlagring som förstudien visat på. En ingående beskrivning av platsen görs utifrån detaljplaner, sektioner och perspektiv, i samband med det ges också förslag på beskrivande skylttexter kopplat till det som illustrationerna visar. Kapitlet avslutas med en diskussion om metod och resultat samt slutsatser.










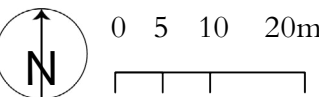
5.1 Illustrationsplan: Ultuna Kolpark

Gestaltungsforlaget for Ultuna Kolpark illustrerar hur kolinlagring kan kombineras med värden for rekreation och pedagogik. Längs en självguidande stig finns skyltar, som utifrån vad förstudiens visat, påverkar kolinlagring, berättar om vilken betydelse olika växter, skötselstrategier och växtbäddssubstrats har for kolförrådet. I det här avsnittet beskrivs platsen i bild med tillhörande skylttexter. Skylttexterna är en syntes av förstudien (kapitel 3). Intill ges ett förslag for skylttexten vid entréerna.

Figur 19. Illustrationsplan skala 1:800/A3. 50 år efter att platsen anlagts. Underlag: Baskarta © Uppsala kommun (CC-BY), bearbetad av författaren.

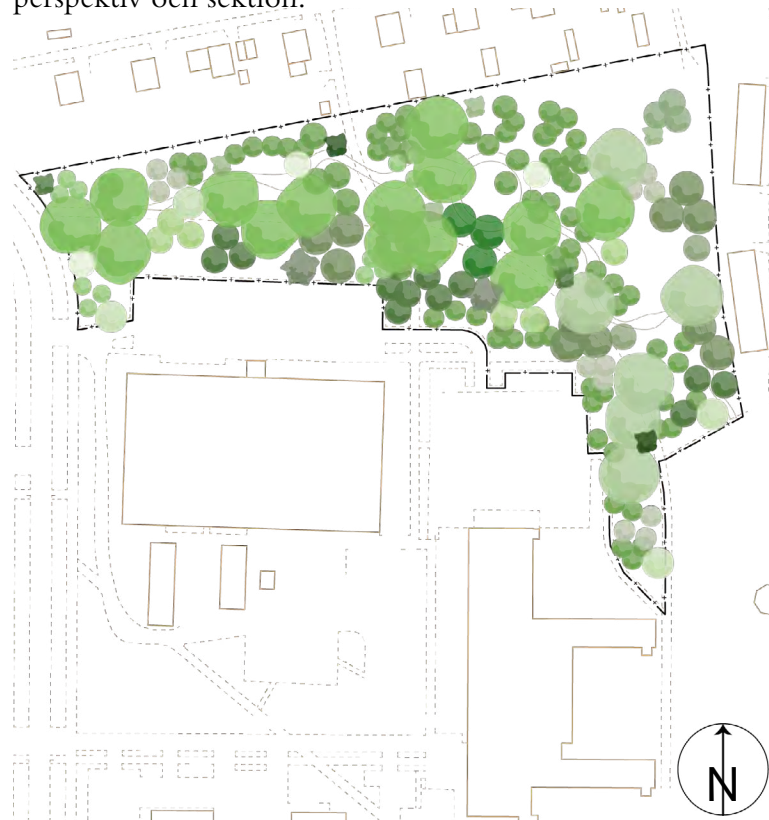
 **Välkomstskylt:**

Välkommen till Ultuna kolpark! Genom skyltar får du här möjligheten att lära dig om hur olika växter, skötselmetoder och växtbäddssubstrat påverkar kolförrådet i växter och jord. Den här parken kanske inte ser ut som andra, den är skuggig och tät och kanske till och med kan upplevas som lite vildvuxen. I själva verket är det precis det som är grejen, att löv och växtdelar ska få falla ner på marken och förmultna och ge näring till markens djur och växter. Vi slipper sköta den här parken genom att låta den sköta sig själv, förhoppningsvis med goda kolförråd i jord och växter på köpet!

- Teckenförklaring**
-  Arbetsområdesgräns
 -  GC-väg
 -  Stig
 -  Lövsråd, art se växtlistor sida 32,33
 -  Barrträd, art växtlistor se sida 33
 -  Välkomstsskylt
 -  Guidningsskylt
 -  0 5 10 20m

5.2 Gestaltungsforlaget

I det här avsnittet redogörs för hur gestaltungsforlaget är uppbyggt. Med utgångspunkt i analysen och den information som framkommit i förstudien motiveras ställningstaganden. Först redogörs för träddarter och placering av dem. Därefter ges en grundlig genomgång av forlaget utifrån detaljerade planer med tillhörande perspektiv och sektion.

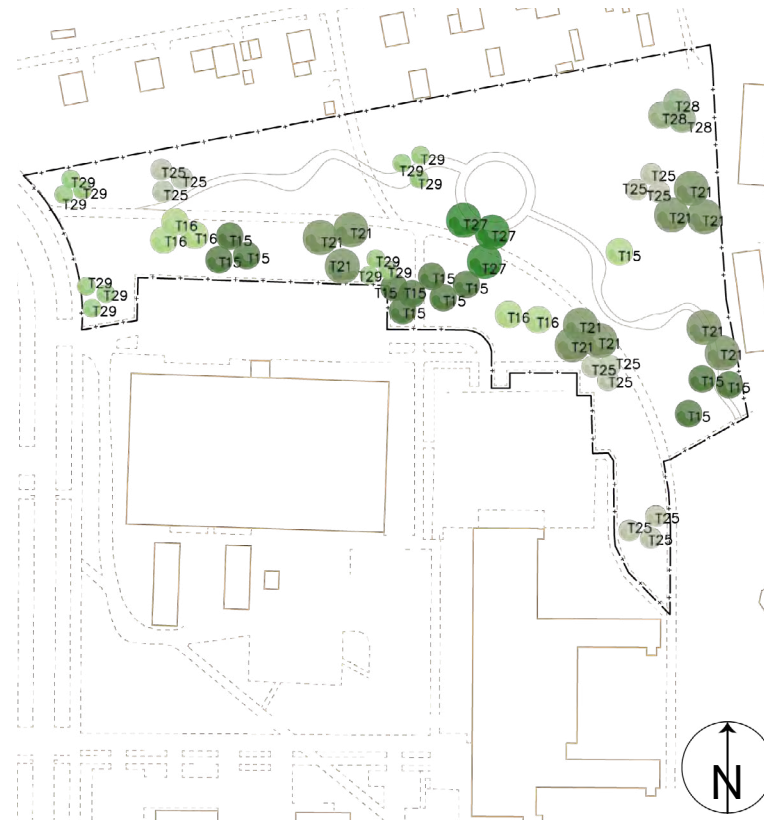


Figur 20. Planen visar gestaltungsforlagets alla träd. Ej skalenlig. Underlag: Baskarta © Uppsala kommun (CC-BY), bearbetad av författaren.

Trädarter

Utifrån förstudiens faktorer för kolinlagring har ett antal träddarter valts till gestaltungsforlaget utifrån sina respektive kolinlagrande egenskaper. Under rubriken *Exemplväxter med kolinlagrande egenskaper* (avsnitt 3.4) redogörs för ett antal arter och deras kolinlagrande förmåga. I gestaltungsforlaget har arterna delats in i grupperna Primär- Sekundär- och Solitärträd och täcker in faktorerna

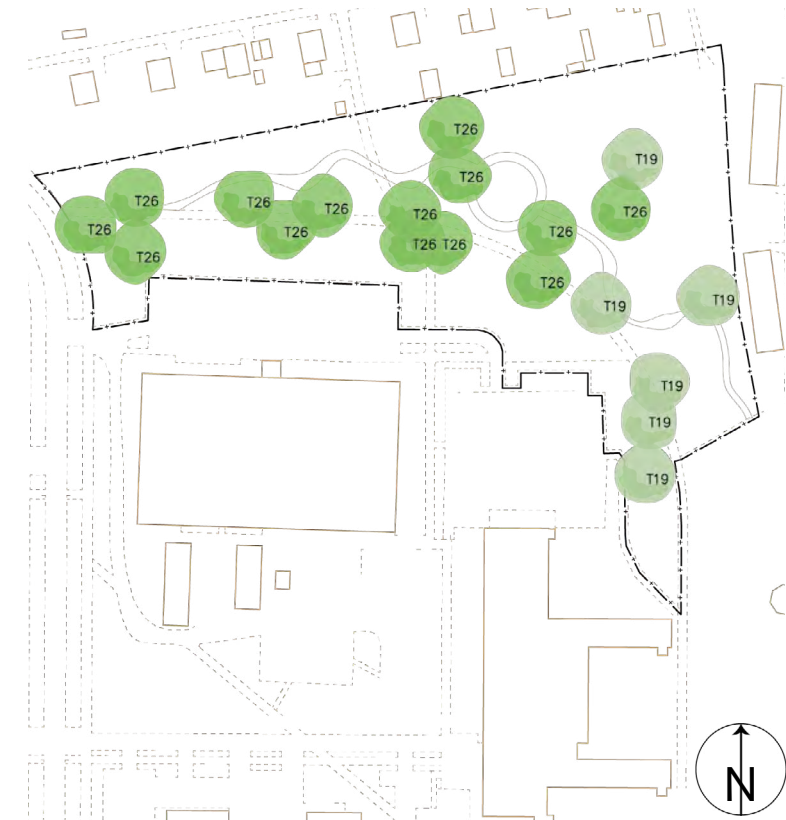
för kolinlagring genom tillväxttakt respektive storlek, veddensitet och ålder samt rotarkitektur och funktionell diversitet. Planerna nedan visar på de nya trädens placering, vilka befintliga träd som sparas och vilka som avverkas.



Figur 21. Planen visar primärträden. Ej skalenlig. Underlag: Baskarta © Uppsala kommun (CC-BY), bearbetad av författaren.

Växtförteckning: primärträd (figur 21)

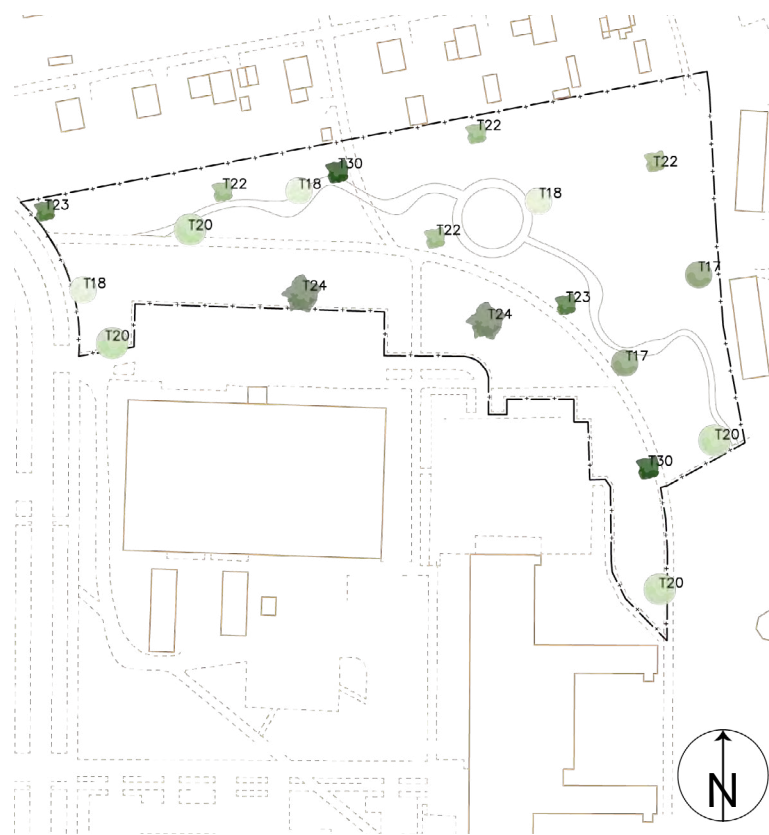
T15	Alnus glutinosa	klibbal
T16	Betula pendula 'Dalecarlica'	ornäsbjörk
T21	Larix kaempferi	japansk lärk
T25	Prunus maackii	näverhägg
T27	Salix alba 'Saba'	vitpil
T28	Salix caprea	sälg
T29	Sorbus aucuparia	rönn



Figur 22. Planen visar sekundärträden. Ej skalenlig. Underlag: Baskarta © Uppsala kommun (CC-BY), bearbetad av författaren.

Växtförteckning: sekundärträd (figur 22)

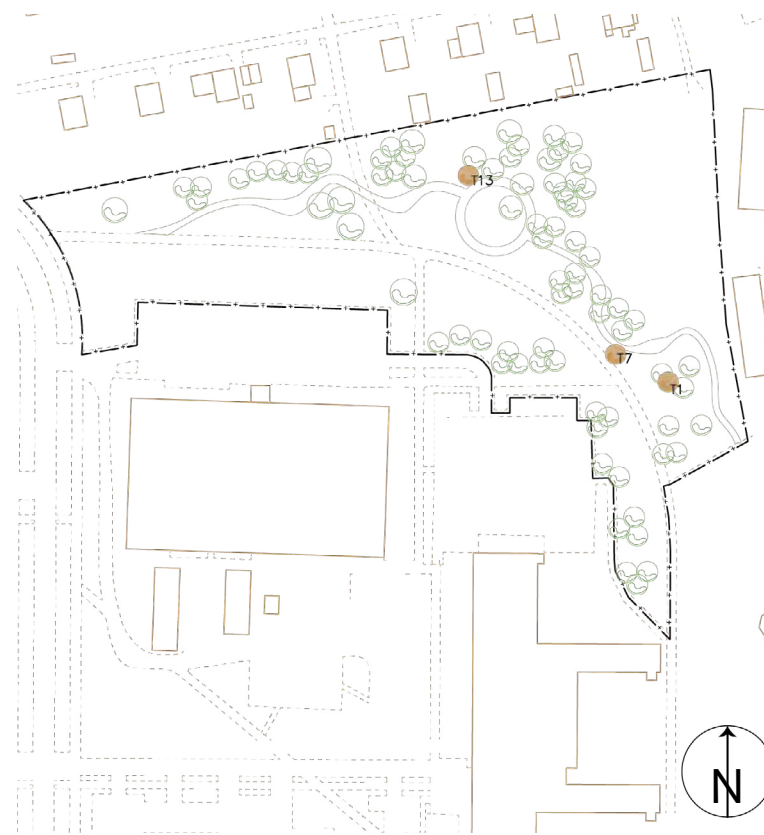
T19	Fagus sylvatica	bok
T26	Quercus robur	skogsek



Figur 23. Planen visar solitärträden. Ej skalenlig. Underlag: Baskarta © Uppsala kommun (CC-BY), bearbetad av författaren.

Växtförteckning: solitärträd (figur 23)

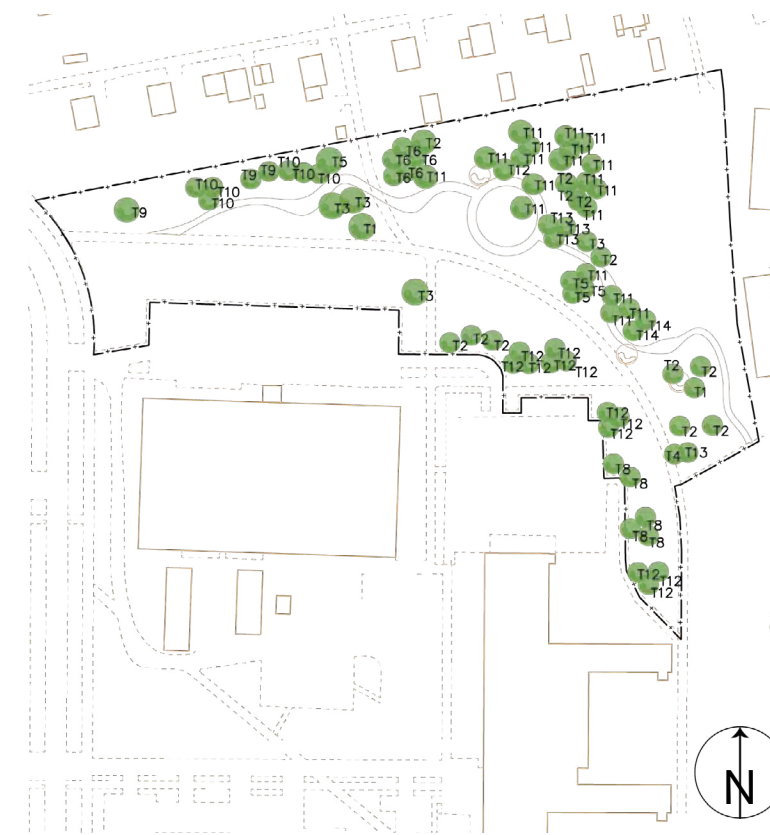
T17	Carpinus betulus	avenbok
T18	Cercidiphyllum japonicum	katsura
T20	Juglans nigra	svart valnöt
T22	Picea pungens 'Glauca'	blågran
T23	Pinus cembra	cembratall
T24	Pinus nigra ssp. Nigra	svarttall
T30	Tsuga heterophylla	jättehemlock



Figur 24. Planen visar befintliga träd som avverkas. Ej skalenlig. Underlag: Baskarta © Uppsala kommun (CC-BY), bearbetad av författaren.

Växtförteckning: befintliga träd som avverkas (figur 24)

T1	Acer campestre	naverlön
T7	Crataegus spp.	hagtorn
T13	Quercus robur	skogsek



Figur 25. Planen visar befintliga träd som sparas. Ej skalenlig. Underlag: Baskarta © Uppsala kommun (CC-BY), bearbetad av författaren.

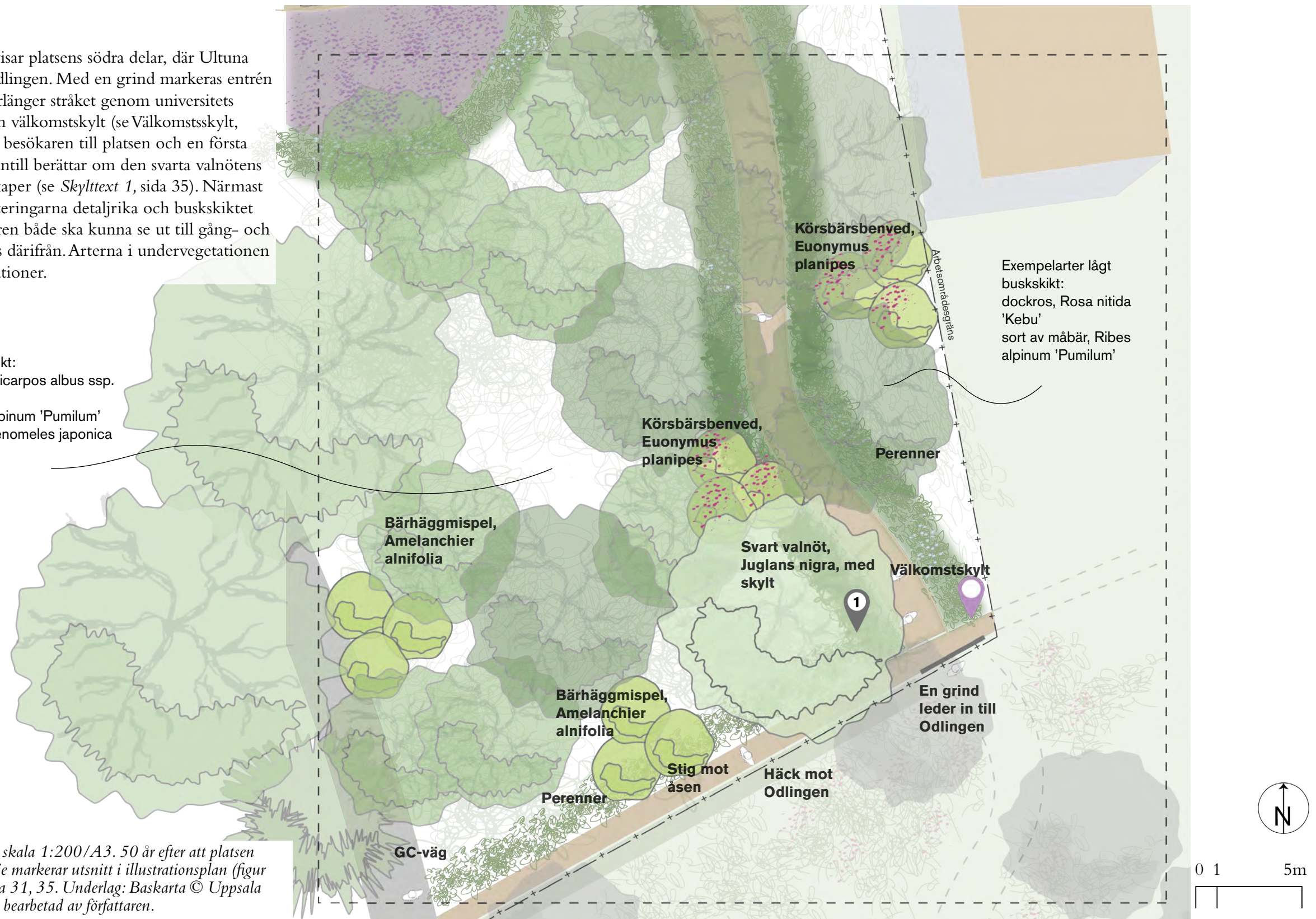
Växtförteckning: befintliga träd som sparas (figur 25)

T1	Acer campestre	naverlön
T2	Acer spp.	lön
T3	Aesculus hippocastanum	hästkastanj
T4	Betula pendula 'Dalecarlica'	ornäsbjörk
T5	Carpinus betulus	avenbok
T6	Corylus colurna	turkhasel
T7	Crataegus spp.	hagtorn
T8	Fagus sylvatica	bok
T9	Malus spp.	apel
T10	Malus (Purpur-Gruppen))	purpurapel
T11	Prunus avium	sötkörbär
T12	Prunus sargentii	bergkörbär
T13	Quercus robur	skogsek
T14	Sorbus spp.	rönn

Entré

Utsnittet (figur 26) visar platsens södra delar, där Ultuna Kolpark övergår i Odlingen. Med en grind markeras entrén samtidigt som det förlänger stråket genom universitets visningsträdgårdar. En välkomstskylt (se Välkomstskylt, sida 31) introducerar besökaren till platsen och en första guidningsskylt strax intill berättar om den svarta valnötens kolinlagrande egenskaper (se *Skylttext 1*, sida 35). Närmast stigen är perennplanteringarna detaljrika och buskskiktet är lågt för att besökaren både ska kunna se ut till gång- och cykelvägen och synas därifrån. Arterna i undervegetationen bjuder på årstidsvariationer.

Exemplararter lågt buskigt:
hybridsnöbär, *Symphoricarpos albus* ssp. *laevigatus* 'Hancock'
sort av måbär, *Ribes alpinum* 'Pumilum'
liten rosenkvitten, *Chaenomeles japonica*
FK MOTALA E



Figur 26. Utsnitt 1 skala 1:200/A3. 50 år efter att platsen anlagts. Streckad linje markerar utsnitt i illustrationsplan (figur 19). Skylttext se sida 31, 35. Underlag: Baskarta © Uppsala kommun (CC-BY), bearbetad av författaren.

Skylttexter

Samtliga skylttexter (sida 31,35, 37,39,42,44) är en syntes av de faktorer som förstudiens visat främjar kolinlagring i växter och jordar (kapitel 3). Texterna är utformade med naturvägledningens målsättning (avsnitt 3.5) och för de syften och för den målgrupp som anges i programmet (avsnitt 3.4 Programbeskrivning).



Skylttext 1: Djupa rötter ger djupa kolförråd

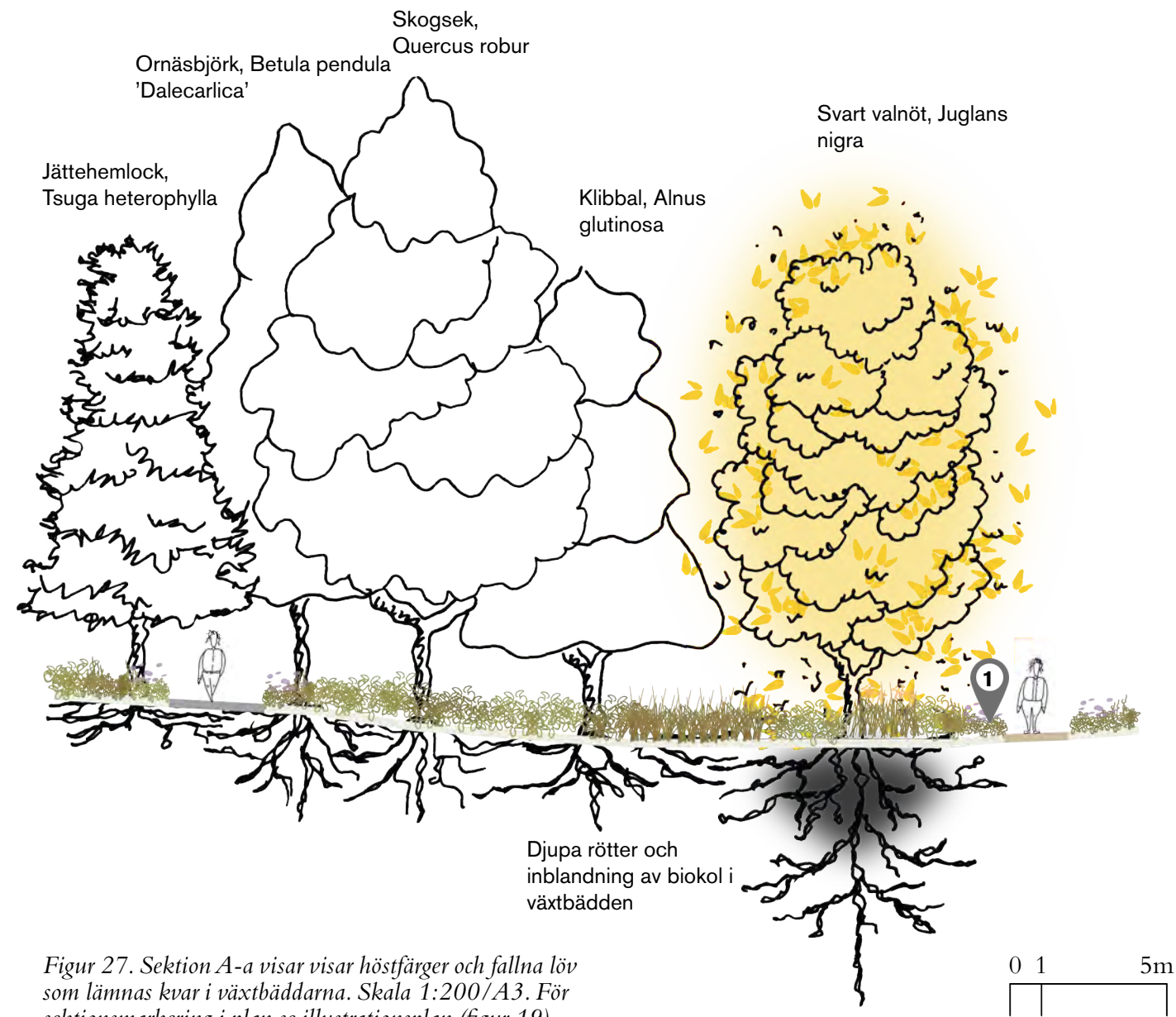
Svart valnöt, *Juglans nigra*, har djupa rötter vilket kan vara en kolinlagrande egenskap. Jordens kolförråd är större än de levande växternas och djupa rötter kan hjälpa till att fylla på det djupt belägna kolförrådet genom att avge döda rottdelar och föra med sig ett mikroorganismssamhälle, som också hjälper till att lagra kol. Hur växterna ser ut både ovan och under mark kan därför ha betydelse för hur mycket kol som lagras. Stora träd i djupa växtbäddar får också goda förutsättningar att trivas och växa och därigenom också lagra kol i alla sina växtdelar. Med biokol i växtbädden binds kol för mycket lång tid framöver, samtidigt som den svarta valnöten också kan dra nytta av det som jordförbättring. På liknande sätt har organiskt material direkt och indirekt påverkan på kolförrådet i mark och växter varför det också har betydelse att låta fallna löv förmultna på plats i växtbädden. Fundera en stund på hur jorden påverkar växterna och tvärtom och vilken betydelse detta har för kolinlagringen!

Växsubstrat och skötselstrategi

Sektionen beskriver, mot bakgrund av förstudien, val av växsubstrat, växter med särskild rotutbredning och skötselmetoder som direkt och indirekt har betydelse för kolförrådet i jorden.

Sektionen (figur 27) illustrerar inblandning av biokol i jorden, den svarta valnöten djupa rotsystem och fallna löv som på hösten lämnas kvar i planteringsbäddarna. Löven

kan tillåtas falla ner i, och döljas av, undervegetationens buskar, på så sätt anses inte intrycket av platsen påverkas av skötselstrategin. Löv på gångarna kan också krattas eller blåsas in i planteringarna för att komma både kolförrådet och växterna till nytta.



Figur 27. Sektion A-a visar höstfärger och fallna löv som lämnas kvar i växtbäddarna. Skala 1:200/A3. För sektionens markering i plan se illustrationsplan (figur 19).

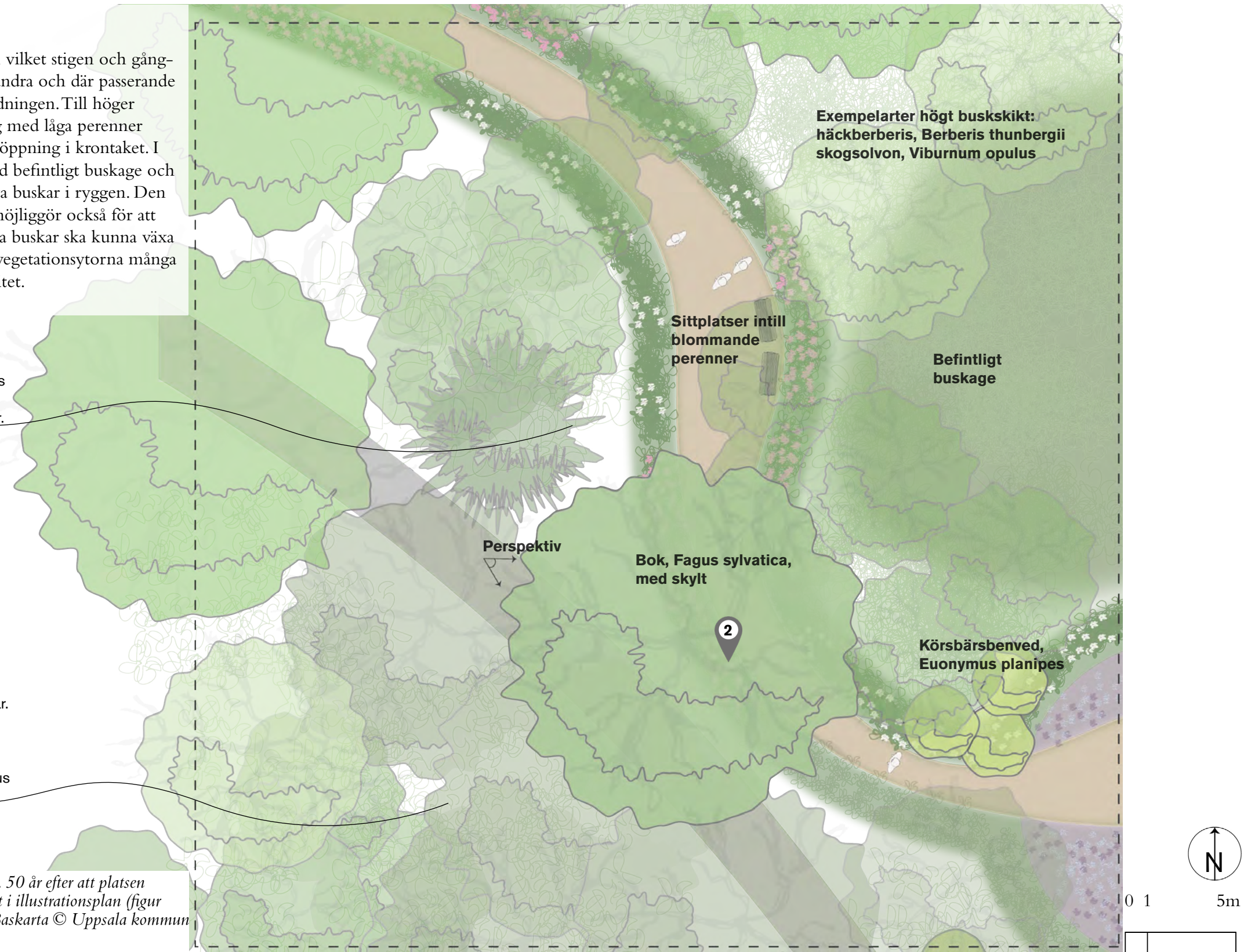
Inbjudande

Utsnittet (figur 28) visar ett parti i vilket stigen och gång- och cykelvägen kommer nära varandra och där passerande på så sätt bjuds in att ta del av guidningen. Till höger i utsnittet syns en mindre öppning med låga perenner och utsikt mot himlen genom en öppning i krontaket. I utsnittet syns också två bänkar med befintligt buskage och ytterligare planterade höga och täta buskar i ryggen. Den relativt glesa placeringen av träd möjliggör också för att mindre flerstammiga träd och stora buskar ska kunna växa i undervegetationen. På så vis får vegetationsytorna många lager och potentiellt stor artdiversitet.

Exempelarter lågt buskskikt:
vidjehortensia, *Hydrangea arborescens*
'Annabelle'
sort av blåbärstry, *Lonicera caerulea* var.
kamtschatica ANJA E

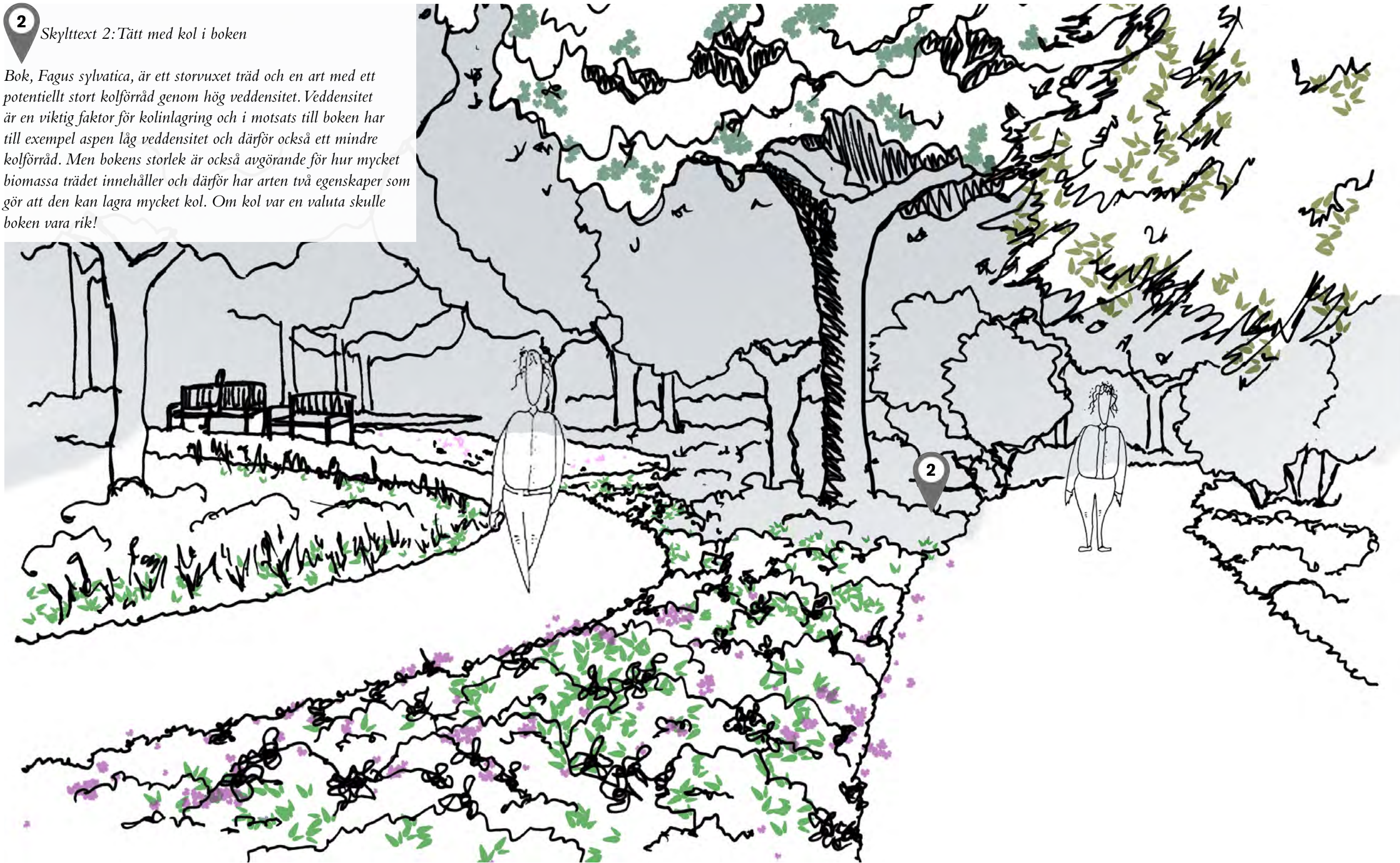
Exempelarter lågt buskskikt:
sort av blåbärstry, *Lonicera caerulea* var.
kamtschatica ANJA E
norskspirea, *Spirea betulifolia*
'Grefsheim' E
sort av lagerhägg, *Prunus laurocerasus*
'Mano'

Figur 28. Utsnitt 2 skala 1:200/A3. 50 år efter att platsen anlagts. Streckad linje markerar utsnitt i illustrationsplan (figur 19). Skylttext se sida 37. Underlag: Baskarta © Uppsala kommun (CC-BY), bearbetad av författaren.



2 Skylttext 2: Tätt med kol i boken

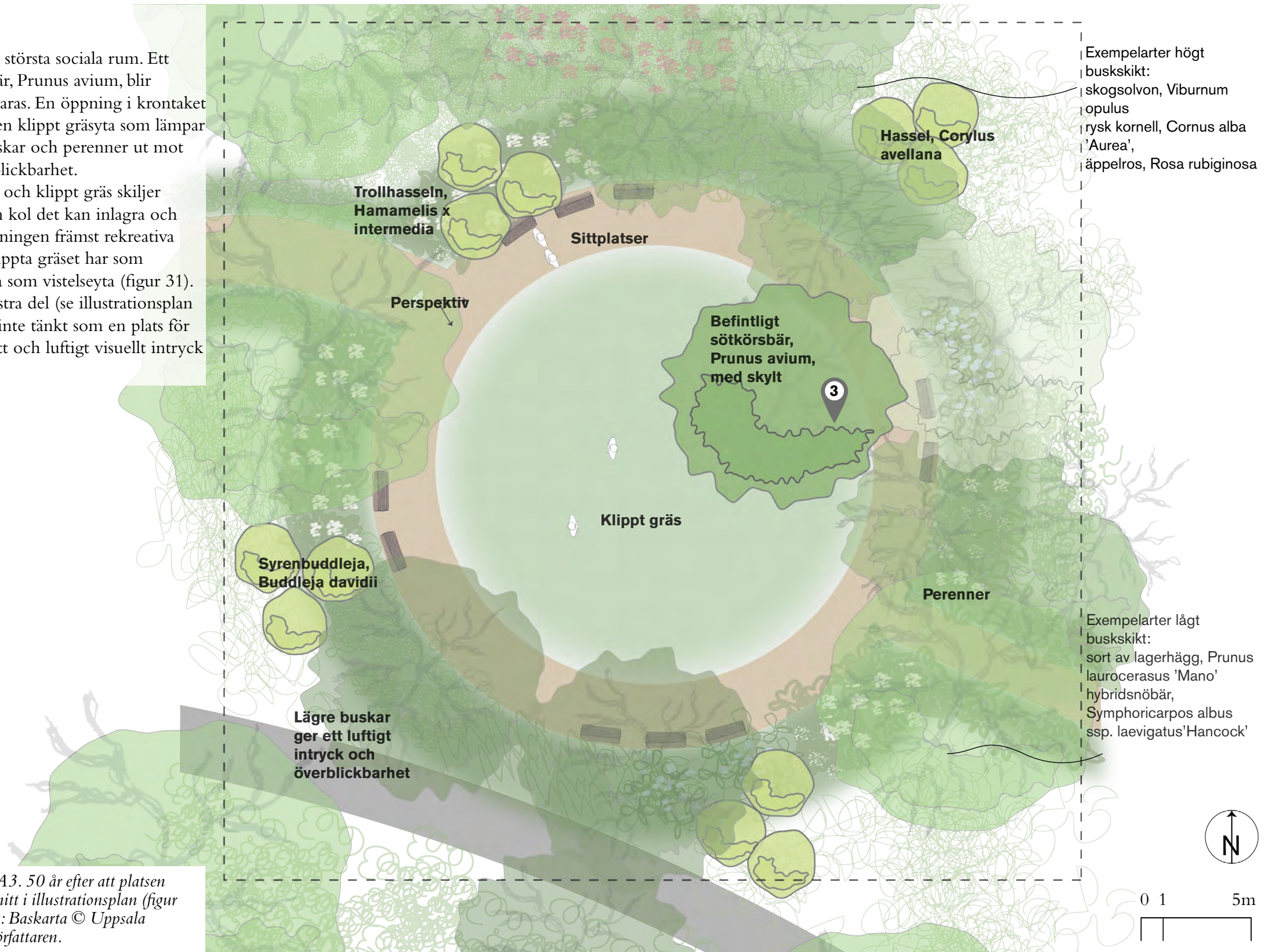
Bok, *Fagus sylvatica*, är ett storvuxet träd och en art med ett potentiellt stort kolförråd genom hög veddensitet. Veddensitet är en viktig faktor för kolinlagring och i motsats till boken har till exempel aspen låg veddensitet och därför också ett mindre kolförråd. Men bokens storlek är också avgörande för hur mycket biomassa trädet innehåller och därför har arten två egenskaper som gör att den kan lagra mycket kol. Om kol var en valuta skulle boken vara rik!



Figur 29. Perspektiv.

Glänta

Utsnittet (figur 30) visar platsen största sociala rum. Ett befintligt träd av arten sötkörsbär, *Prunus avium*, blir symbolen för gamla träd som sparas. En öppning i krontaket släpper ner solen och ljuset till en klippt gräsyta som lämpar sig för olika aktiviteter. Låga buskar och perenner ut mot gång- och cykelvägen ger överblickbarhet. Trots att förstudien visat att äng och klippt gräs skiljer sig åt både beträffande mängden kol det kan inlagra och skötselintensitet har det i gestaltningen främst rekreativa och estetiska funktioner. Det klippta gräset har som huvudsakliga syfte är att fungera som vistelseyta (figur 31). Ett ängsparti i arbetsområdets östra del (se illustrationsplan sida 31) är däremot i huvudsak inte tänkt som en plats för vistelse utan ska istället ge ett lätt och luftigt visuellt intryck i anslutning till bostäderna.



Figur 30. Utsnitt 3 skala 1:200/A3. 50 år efter att platsen anlagts. Streckad linje markerar utsnitt i illustrationsplan (figur 19). Skylttext se sida 39. Underlag: Baskarta © Uppsala kommun (CC-BY), bearbetad av författaren.

3 Skylttext 3: Gamla träd är klimathjältar

Gamla träd är kolsänkor vilket betyder att de tar mer koldioxid från atmosfären än de släpper ut. Så länge trädet lever, eller dess ved skyddas från förmultning genom att exempelvis bli en möbel, hindras kolet från att brytas ner och återgå som koldioxid till atmosfären. Därför är det viktigt att ta hand om gamla träd så att de kan leva så länge det bara går medan staden omkring dem förändras.

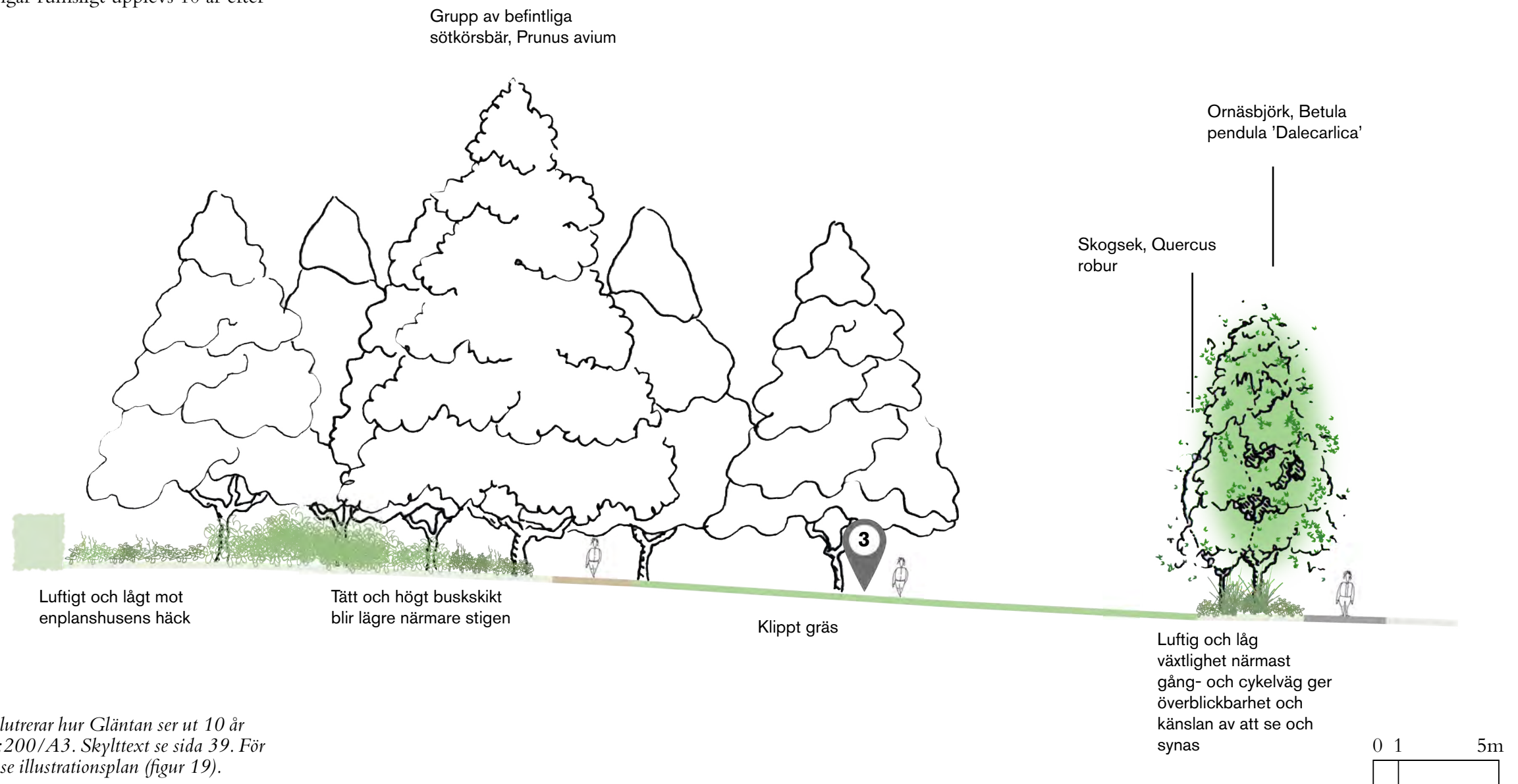


Figur 31. Perspektiv.

Tillväxttaktens påverkan på rumslighet och kolförråd

I sektionen (figur 32) beskrivs platsen utifrån dess estetiska och rumsliga värden. Mot bakgrund av förstudien redogörs också för på vilket sätt växterna bidrar till kolförrådet.

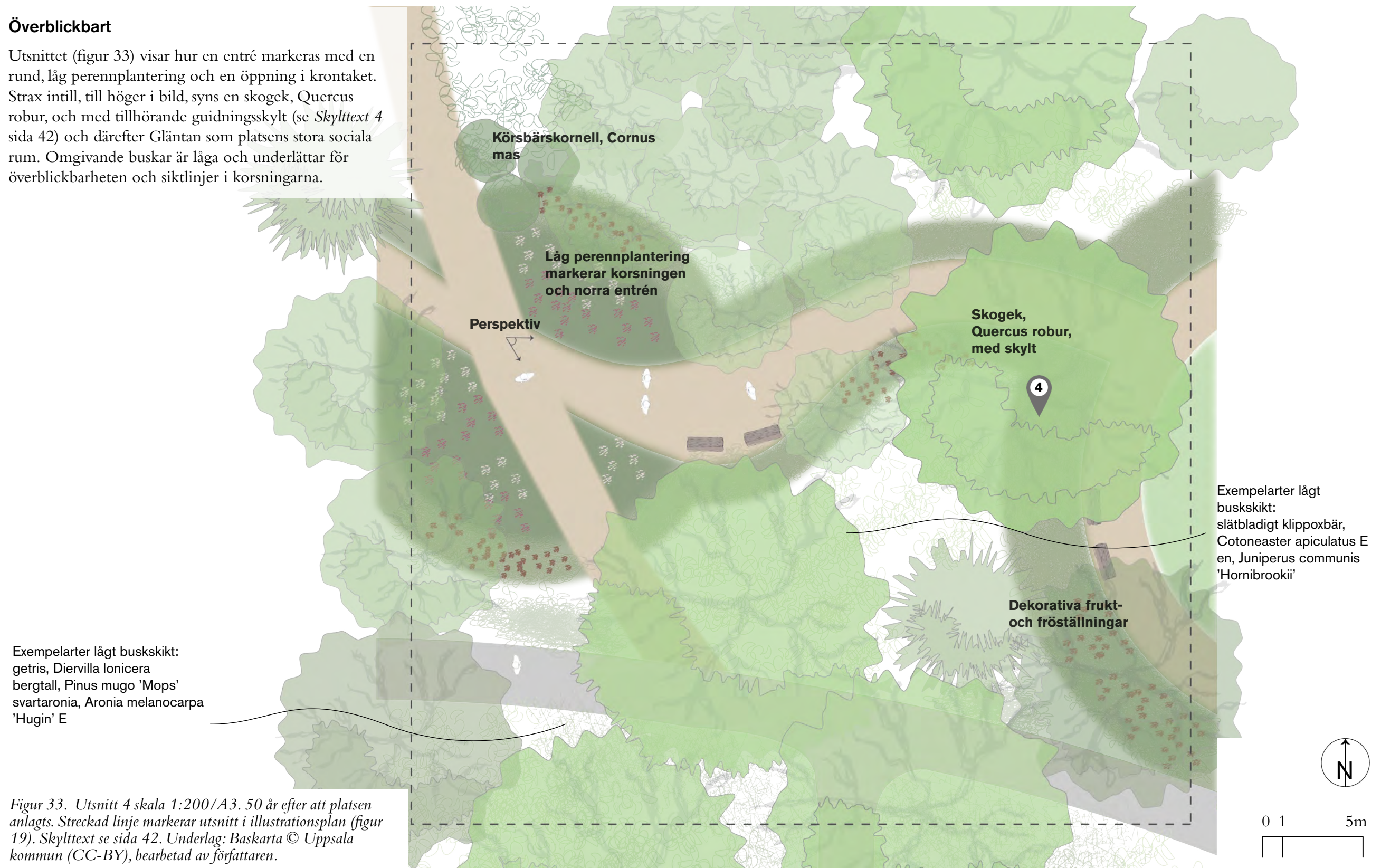
Primärträdet ornäsbjörken, *Betula pendula* 'Dalecarlica', snabba tillväxt är betydande ur kolinlagringssynpunkt och ger på relativt kort tid både volym och karaktär åt platsen medan sekundärträdet skogseken, *Quercus robur*, bidrar till både rumslighet och kolförråd i ett längre tidsperspektiv. Sektionen illustrerar hur dessa två arter påverkar hur Gläntan med omgivning rumsligt upplevs 10 år efter anläggning.



Figur 32. Sektion D-d illustrerar hur Gläntan ser ut 10 år efter anläggning. Skala 1:200/A3. Skylttext se sida 39. För sektionens markering i plan se illustrationsplan (figur 19).

Överblickbart

Utsnittet (figur 33) visar hur en entré markeras med en rund, låg perennplantering och en öppning i krontaket. Strax intill, till höger i bild, syns en skogek, *Quercus robur*, och med tillhörande guidningsskylt (se *Skylttext 4* sida 42) och därefter Gläntan som platsens stora sociala rum. Omgivande buskar är låga och underlättar för överblickbarheten och siktlinjer i korsningarna.

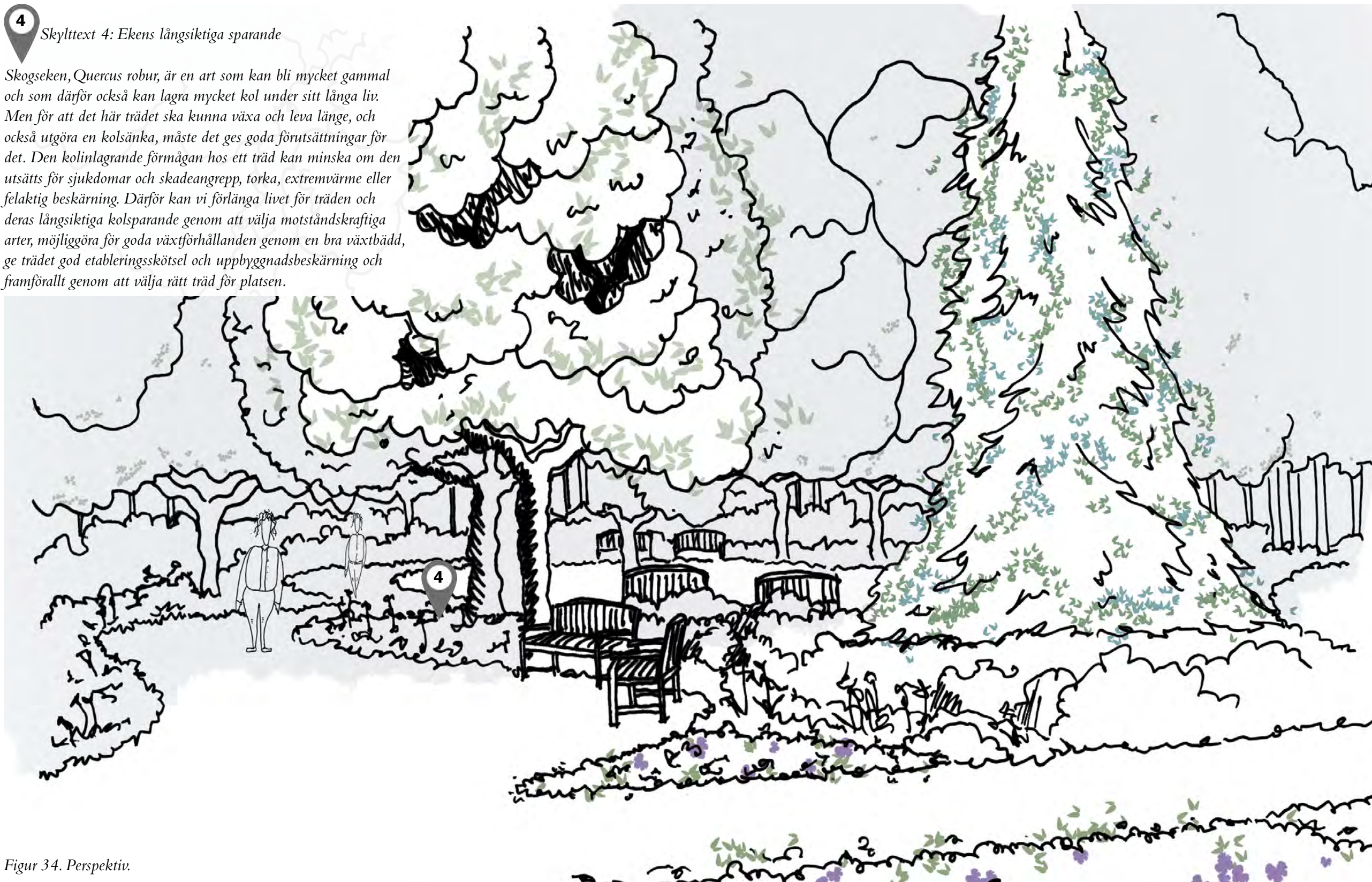


Figur 33. Utsnitt 4 skala 1:200/A3. 50 år efter att platsen anlagts. Streckad linje markerar utsnitt i illustrationsplan (figur 19). Skylttext se sida 42. Underlag: Baskarta © Uppsala kommun (CC-BY), bearbetad av författaren.

4

Skylttext 4: Ekens långsiktiga sparande

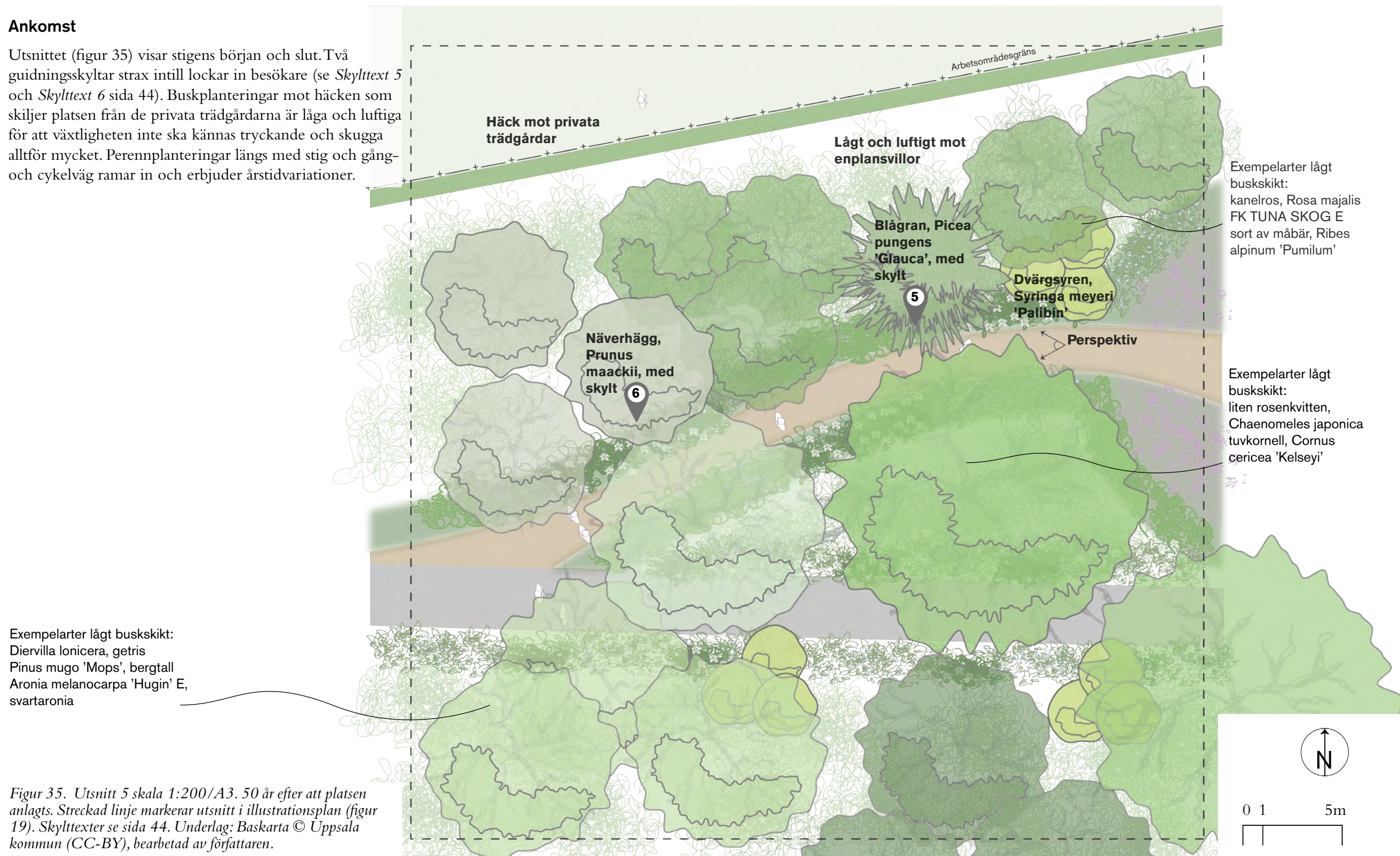
Skogseken, *Quercus robur*, är en art som kan bli mycket gammal och som därför också kan lagra mycket kol under sitt långa liv. Men för att det här trädet ska kunna växa och leva länge, och också utgöra en kolsänka, måste det ges goda förutsättningar för det. Den kolinlagrande förmågan hos ett träd kan minska om den utsätts för sjukdomar och skadeangrepp, torka, extremvärme eller felaktig beskärning. Därför kan vi förlänga livet för träden och deras långsiktiga kolsparande genom att välja motståndskraftiga arter, möjliggöra för goda växtförhållanden genom en bra växtbädd, ge trädet god etableringsskötsel och uppbyggnadsbeskärning och framförallt genom att välja rätt träd för platsen.



Figur 34. Perspektiv.

Ankomst

Utsnittet (figur 35) visar stigens början och slut. Två guidningsskyltar strax intill lockar in besökare (se *Skylltext 5* och *Skylltext 6* sida 44). Buskplanteringar mot häcken som skiljer platsen från de privata trädgårdarna är låga och luftiga för att växtligheten inte ska kännas tryckande och skugga alltför mycket. Perennplanteringar längs med stig och gång- och cykelväg ramar in och erbjuder årstidsvariationer.



Exempelarter lågt buskskikt:
Diervilla lonicera, getris
Pinus mugo 'Mops', bergtall
Aronia melanocarpa 'Hugin' E,
svartaronia

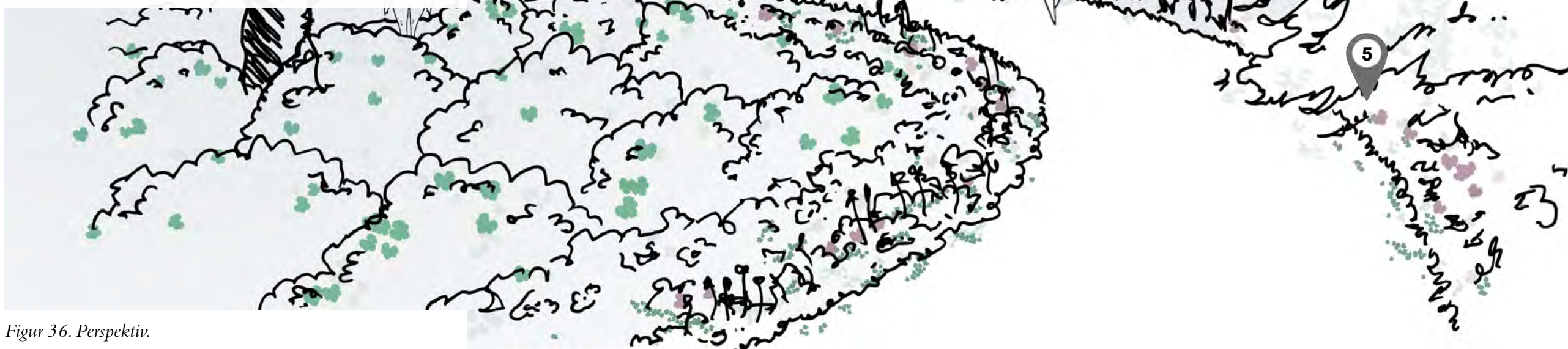
Figur 35. Utsnitt 5 skala 1:200/A3. 50 år efter att platsen anlagts. Streckad linje markerar utsnitt i illustrationsplan (figur 19). Skylltexter se sida 44. Underlag: Baskarta © Uppsala kommun (CC-BY), bearbetad av författaren.

5 Skylttext 5: Det kolinlagrande teamet

Rik mångfald av arter, eller egentligen en mångfald av funktionella egenskaper i en plantering, har många fördelar för ett ekosystem. Det finns flera teorier för på vilket sätt den funktionella diversiteten har betydelse för ett ekosystem, men en återkommande är att ett maximalt nyttjande av resurserna i marken, nyttjat av olika arter tack vare deras olika funktionella egenskaper, också möjliggör för stor produktivitet och tillväxt. En mångfald av arter har därmed också betydelse för hur mycket kol som kan inlagras och det är därför viktigt att en anläggning sköts på ett sätt som möjliggör för en artdiversitet även i framtiden. Ett busk- och markskikt under trädens kronor fyller ut, drar nytta av ytterligare resurser och möjliggör därför för största möjliga kolinlagring i ytan.

6 Skylttext 6: Snabba på kolinlagringen

I en snabbt växande stad kan det också vara värdefullt att snabbt få upp stora trädvolymer. Det är då också bra att veta att näverhägg, *Prunus maackii*, som är ett snabbväxande träd också har en växtstrategi vilken har betydelse för hur snabbt den kan inlagra kol. Generellt lever dock snabbväxande arter ett relativt kort liv, men om en plats förväntas göras om inom en närliggande framtid kan det ändå löna sig att välja en snabbväxande art, eftersom den skulle kunna ge ett relativt stort bidrag till det totala kolförrådet under sin kortare livstid.

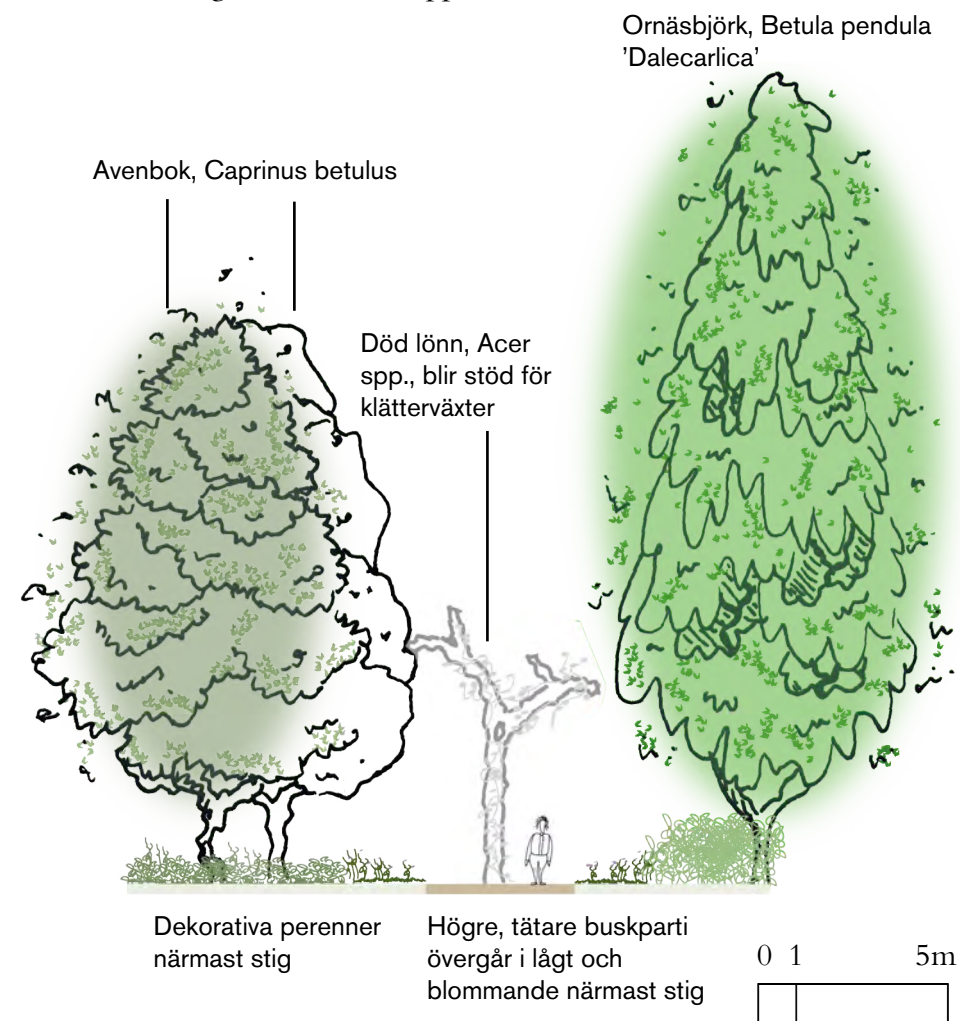


Figur 36. Perspektiv.

Arters betydelse ur ett längre tidsperspektiv

Sektionen (figur 37) beskriver, utifrån resultat från förstudien, trädens betydelse för kolinlagringen ur olika tidsperspektiv. Sektionen visar också på olika växtstrategiers visuella påverkan på platsen.

Sektionen visar hur de befintliga träden, 50 år efter nyanläggning, blivit gamla och dör, samtidigt som en del av de arter som tillhör primärträden har hunnit bli stora och kan ta över, både som kolsänkor och karaktärs- och rumsskapande volymer. I den här sektionen är ornäsbjörken, *Betula pendula* 'Dalecarlica', ett fullstort träd när den befintliga lönnen, *Acer* spp., dött.

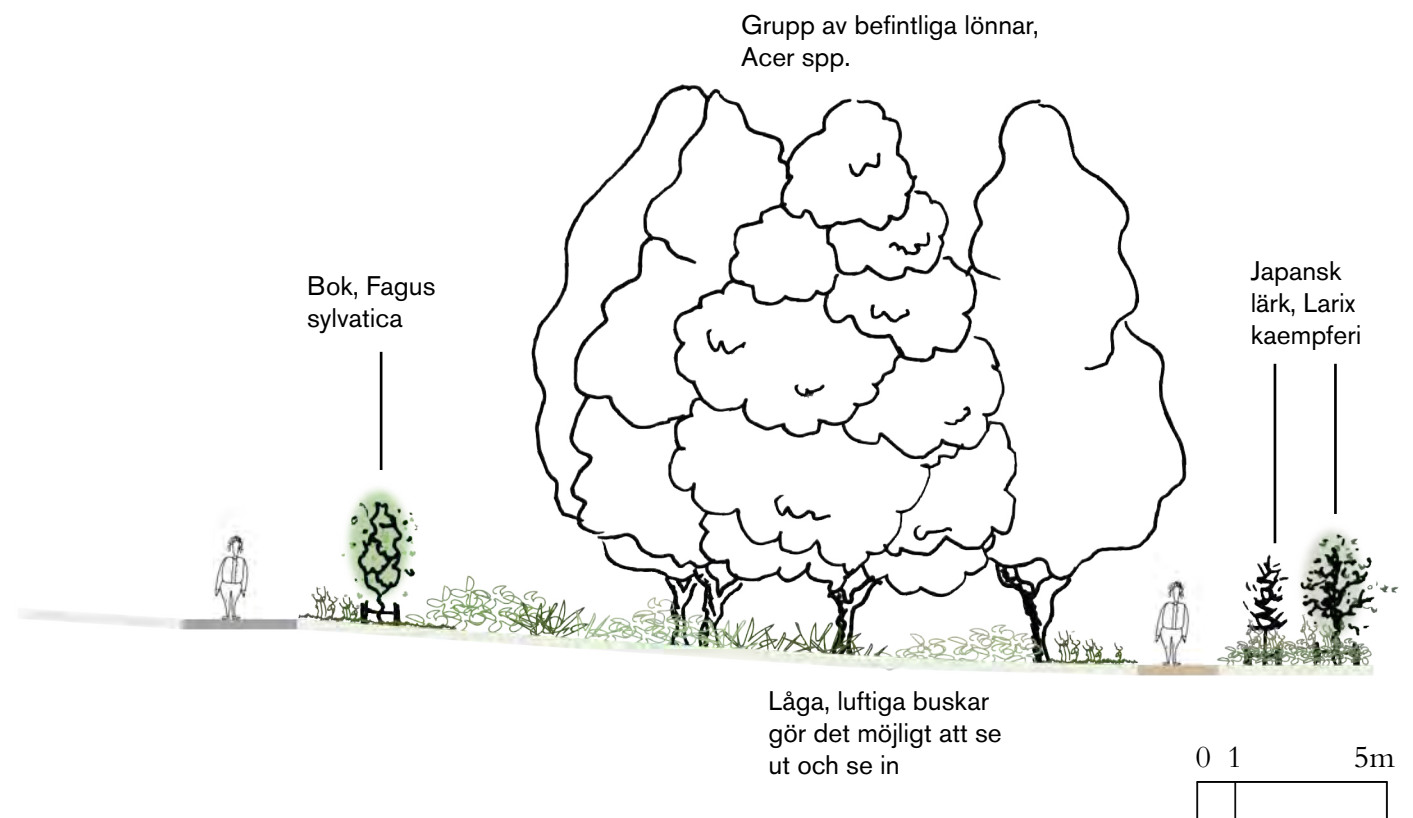


Figur 37. Sektion C-c visar hur parkens träd åldras. Skala 1:200/A3. För sektionsmarkering i plan se illustrationsplan (figur 19).

Värt att bevara befintliga träd

Sektionen (figur 38) beskriver, med bakgrund i förstudien, befintliga träd ut kolinlagringsynpunkt. Sektionen visar också hur de påverkar rumsligheten på platsen.

Befintliga träd som sparas och bidrar både som rumsbildande element och kolsänkor till dessa att de avlöses av nyplanterade träd. Sektionen illustrerar hur en grupp lönnar har visuellt stor påverkan på platsens karaktär när nya träd, och förhållandevis små, exemplar av *Fagus sylvatica*, bok och *Larix kaempferi*, japansk lärk planteras år 0.



Figur 38. Sektion B-b visar betydelsen av befintliga träd när nyplanterade träd fortfarande är relativt små. Skala 1:200/A3. För sektionsmarkering i plan se illustrationsplan (figur 19).

5.3 Diskussion av metod och resultat

Nedan diskuteras genomförandet och resultatet av det här examensarbetet. Först diskuteras metoderna och efter det diskuteras gestaltningen. Därefter följer en diskussion av betydelsen, applicerbarheten och potentiell användning av det här underlaget. Slutligen presenteras ett antal slutsatser och frågor för vidare studier.

Metoddiskussion

Research by design som metamedod har hjälpt vid disponering och för att följa en röd tråd genom arbetet. Metametoden som ett verktyg för ett gestaltande arbete hade ytterligare kunnat utforskas och på så sätt fått större betydelse som aktiv metod i det här arbetet, då med störst fokus på design- och postdesignfasen.

Litteraturstudie

Underlaget för urbana miljöers potential att fungera som kolsänka är begränsat och en stor del av litteraturoversikten är baserad på studier gjorda på jordbruksmark och i skogar. Således har det i analysen av litteraturen också gjorts antaganden om att de principer som gäller för kolinlagring i växter i jordbruk och skogsbruk, också gäller växter som används i urbana miljöer. Större delen av de studier som hittades i litteratursökningarna är gjorda i andra klimatzoner, vilket ställt frågor om dess applicerbarhet på ett nordiskt klimat.

Med Torracos (2005) integrativa litteraturoversikt som stöd och hjälpmedel i sökning, urval, syntetisering och analys har material som annars kanske inte hade hittats, blivit underlag till litteraturoversikten. Mängden och typen av material som hittades i litteratursökningen har begränsats både av tillgänglig tid och förkunskaper och en heltäckande litteraturstudie hade troligen resulterat i ännu mer material, eventuellt också sådant som har urbana miljöer som fokus.

Landskapsarkitektutbildningen behandlar bara grundläggande markvetenskap och växtfysiologi, vilket också kan ha lett till att bristande kunskap gjort att viss litteratur inte hittats eller sorterats ut i urvalsprocesserna. Begränsad kunskap gav också en oro för missuppfattningar, varför kontakten med sakkunniga varit ytterst värdefull i

analysen av det insamlade materialet.

Semistrukturella intervjuer

Intervjuerna har bidragit med fakta till studien, men också gett tillfällen att diskutera slutsatser av litteraturoversikten. Intervjuerna har också gett trovärdighet åt undersökningen.

Med utformning efter Priyadarshinis (2020) metodik för semistrukturell intervju öppnade intervjufrågorna i den här undersökningen upp för diskussion och nya infallsvinklar. Inför de två intervjuerna om biokol delades frågorna in under rubriker, med Priyadarshinis (2020) uppdelning efter teman som ansats, vilket i den här uppsatsen visade sig vara användbart då det förtydligade frågan och uppmuntrade till diskussion. Intervjuerna om kolinlagring i mark och kolinlagring i växter ägde rum senare i processen och hade som syfte att besvara obesvarade frågor, förtydliga och diskutera ett antal aspekter ur litteraturoversikten. Dessa två intervjuer gav en viss försäkran om att resultatet av litteraturoversikten var korrekt, vilket ansågs kunna minska risken för egna feltolkningar och oron som kom med det. Intervjuer med ansvariga för SLUs visningsträdgårdar hade också kunnat inkluderas för att på så vis få veta mer om universitetets egna planer för området Parken.

Inventering och analys

Inventeringen av platsen gjordes vid ett flertal tillfällen under tidig vår och det var svårt att vid den här tiden få en uppfattning om platsens användning. Programmet för den här gestaltningen utgår därför från att platsen inte används i någon större utsträckning även om de stora gräsytorerna skulle kunna bjuda in till vistelse under en annan tid på året. Kanske hade platsens funktion, som en aspekt i inventering och analys kunnat utforskas mer genom exempelvis intervjuer med skötselpersonal. På så sätt hade kanske större hänsyn kunnat tas till det som en funktion i programmet och gestaltungsförslaget.

Skissarbete

Skissarbetet påbörjades i ett relativt sent skede vilket kan ha påverkat utformningen som uppenbart är färgad av litteraturoversiktens resultat. Med kolinlagring som fokus

för arbetet ansågs det dock vara nödvändigt att först ta reda på vad som styrde det, för att också veta vad det satte för begränsningar för gestaltningen. Att skissa i modell hade kunnat ge en djupare förståelse för topografi, rumsligheter och för hur en plats påverkas av att planteras med många stora träd.

Gestaltning

SLUs egna utvecklingsplaner för området Parken påminner, i hur de beskrivs, om gestaltungsförslaget i det här arbetet. Stora träd och friväxande häckar finns i SLUs planer för platsen (SLU 2021d), samtidigt utgör träd och buskage själva grunden i gestaltungsförslaget i det här arbetet. I det här examensarbetet motiveras det med att det potentiellt kan främja kolinlagring, medan det inte går att hitta någonting om att SLU planerar en omgestaltning med samma fokus. Däremot visar det att en gestaltning kan gynna kolinlagring, genom att exempelvis stora träd planteras, även om inte det primära syftet är att designa en urban kolsänka.

Gestaltningen i det här examensarbetet strävar efter att möta programpunkterna för kolinlagring, rekreation och lärande. Genom konceptet Utrymme ger gestaltningen förslag på hur kravet på maximal grönska för kolinlagring kan kombineras med värden för rekreation. Förslaget visar på anpassningar till det senare genom solbelysta gläntor, sittplatser och överblickbarhet genom bitvis luftig och låg vegetation. Däremot är det i förslaget tydligt att kolinlagring är fokus, vilket resulterar i en gestaltning som på sikt skulle ge en relativt skuggig plats, som delvis också skulle skugga ut intilliggande trädgårdar. Inte heller presenterar förslaget i första hand större ytor ämnade för vistelse, utan erbjuder begränsat med sociala ytor. Genom gestaltungs-konceptet Utrymme ämnade förslaget visa på naturen som överordnad människan och därför erbjuda mindre yta för vistelse och mer för naturen. Utifrån det kan förslaget anses illustrera hur kolinlagring som huvudfokus kan appliceras på urbana vegetationsytor, utan att avstå från att också gestalta för människan. Resultatet av gestaltningen hävdar att en plats, som den här på universitetets campus med ett syfte att lära ut om kolinlagring, lämpar sig för en sådan här typ av gestaltning som skulle kunna tillföra värden för rekreation och pedagogik till området. Den

här undersökningen vill hävda att för att ett förslag med kolinlagring som syfte ska vara applicerbar krävs att platsen för det är genomtänkt, bland annat sett till de begränsningar som förstudien lyft fram men också att syftet med skötseln tydligt kan kommuniceras.

Gestaltningen föreslår att alla friska träd och buskar som, med hänsyn till den nya gestaltningen, kan sparas också bör göra det. Detta eftersom förstudien visat på vikten av att spara gamla träd vilket i det här förslaget, med kolinlagring som fokus, ansetts vara viktigare än de begränsningar sparandet av befintliga träd satt för gestaltningen. Träden och buskagen är också volymer som bidrar till rumsligheten på platsen medan nyplanterade träd fortfarande är små, detta illustreras i sektion B-b (figur 38). Med bakgrund i förstudien har arter med olika växtstrategier och förväntad livslängd föreslagits vilket i ett längre tidsperspektiv kommer innebära att intrycket av platsen och dess karaktär, förändras, så som den också gör i naturen som är förebilden för gestaltningen.

Flera av trädarterna som valts till det här förslaget förekommer i omgivningarna och är på så sätt inte unika för ett förslag med fokus på kolinlagring. Förstudien har visat att det inte är en viss art som är viktig för kolinlagring utan istället specifika egenskaper flera arter kan ha. Växtförslagen till den här gestaltningen är därför bara exempel och listan över träd med kolinlagrande egenskaper kan troligen göras lång. Med många valmöjligheter kan också resultatet av det här arbetet sägas vara ännu mer användbart för den gestaltande landskapsarkitekten.

Resultatets betydelse

Genom ett gestaltningsförslag för ett fallstudieområde besvarar det här examensarbetet sin frågeställning genom att visa på hur urbana, rekreativa vegetationsytor kan utformas för att kommunicera och gynna kolinlagring. Arbetet redogör för ett antal faktorer för kolinlagring i växter, för biokol som jordförbättrande växtsubstrat och skötselmetoder vilka kan fungera som verktyg för den gestaltande landskapsarkitekten, för att möjliggöra för kolinlagring i multifunktionella, urbana vegetationsytor. Uppsatsen förklarar och illustrerar också hur naturvägledning kan användas för att med träd som resurser

förmedla nyttan av kolinlagring, utifrån skyltning på en självguidande stig.

Förstudien visar att den gestaltande landskapsarkitekten kan applicera faktorer för kolinlagring i växter och mark på ett urbant perspektiv, och med det som verktyg främja kolinlagring. Förstudien visar dock också att inlagringen av kol, i proportion till stora utsläpp, är liten (Baró et al. 2014; Baró & Gómez-Baggethun 2017; Hiron & Sjöman 2019) och att det är viktigt att inte välja kolinlagring framför att aktivt minska utsläppen av växthusgaser (Baró & Gómez-Baggethun 2017). Därför är det troligtvis i stadsplaneringen som landskapsarkitekten kan göra störst skillnad för att främja kolinlagring. Att i planering aktivt arbeta för att göra plats åt grönytor (McPherson & Simpson 1999) och framförallt säkerställa bevarandet av exempelvis skogar som Nbs-lösningar och verktyg i klimatarbetet (Cohen-Shacham et al. 2016), har troligen större betydelse sett till kolinlagring. Är det då verkningslöst att som landskapsarkitekt sträva efter att främja kolinlagring i urbana vegetationsytor? Resultatet av den här uppsatsen vill hävda att den gestaltande landskapsarkitekten har verktyg för att för att genom gestaltning av urbana vegetationsytor främja kolinlagring, men att det inte bör, vilket också uttryckts i studier (Baró & Gómez-Baggethun 2017) och intervju³¹, vara det primära fokuset om det innebär att det måste göras avkall på andra viktiga funktioner vilka stadsgrönska också bidrar med. Faktum är att det av förstudiens sammanställning av faktorer för kolinlagring i växter och mark, går att dra slutsatsen att mycket av det den gestaltande landskapsarkitekten kan göra för att binda kol i vegetationsytor, troligen redan görs, om än i andra syften. Den här uppsatsen vill dessutom hävda att medlen för att främja kolinlagring, och de faktorer som förstudien visat understödjer det, är relativt enkla att på ett medvetet sätt applicera på urbana vegetationsytor genom val av växtmaterial, skötselstrategi och växtbäddsubstrat.

Den här uppsatsen föreslår användandet av biokol som kolsänka och jordförbättring i anläggningsjordar och befintlig jord, utan att tala om det som ett alternativt till traditionella växtsubstrat. Intervjuer^{32 33} och pågående

31 Totte Niittylä, universitetslektor, SLU, intervju 2021-03-25

32 Björn Embrén, universitetsadjunkt, SLU, intervju 2021-03-09

33 Örjan Stål, universitetsadjunkt, SLU, intervju 2021-03-08

studier (Åkerblom 2021) vittnar om ett växande intresse för substratet bland annat ur de hänseenden vilka den här uppsatsen behandlar. En av utmaningarna med detta examensarbete har varit att hitta verktyg för hur den gestaltande landskapsarkitekten ska kunna främja kolinlagring i jord utan att, med bakgrund i landskapsarkitektutbildningen, ha mer än grundläggande kunskap om de markprocesser som styr detta. Det här examensarbetet vill därför lyfta fram biokol som ett enkelt verktyg vilket landskapsarkitekten kan använda sig av för att öka storleken på jordens kolförråd. På liknande sätt vill den här uppsatsen förespråka, och visa på en gestaltning som tillåter, att organiskt material som skötselstrategi lämnas kvar i växtbädden eftersom studier (Godbold et al. 2006; Eriksson et al. 2011; Poeplau et al. 2016; Kanerva 2020) och intervju³⁴ visat att det har inverkan på kolinlagring i mark och växter. Den här uppsatsen vill också hävda att det är viktigt att informera om kolinlagring, och varför en urban vegetationsyta med fokus på det ser ut och sköts som den gör. På så sätt kan också en ökad acceptans för den här typen av planteringar i staden främjas.

Det underlag som det här arbetet bidrar med skulle kunna användas för att medvetandegöra, kommunicera och argumentera för att grönytor, så även de vildvuxna och föränderliga, behövs för kolinlagring likväl som för andra ekosystemtjänster. Med inspiration från studier som velat öka förståelsen för trädens värde genom ekonomiska beräkningar (Deak Sjöman & Östbergs 2020), har kolinlagring i liknande syfte undersökts i det här examensarbetet med förhoppningen om att sprida kunskapen om det till landskapsarkitekter och andra professioner inom stadsbyggnad. En personlig reflektion i slutet av det här arbetet är att kolinlagring som ämne är både svårt att förstå och förmedla varför naturvägledningen som metod, vilket denna uppsats föreslår, på liknande sätt kan vara ett steg i att sprida kunskapen, intresset och engagemanget för det till en bredare publik.

34 Sigrun Dahlin, forskare, SLU, intervju 2021-03-17

Slutsatser

Det här examensarbetet har visat exempel på hur principer för kolinlagring i växter och jordar, genom växtval, skötselstrategier och växtbäddssubstrat, kan användas som ett gestaltningsverktyg av landskapsarkitekter i utformningen av urbana vegetationsytor. Resultatet har också visat att kolinlagring i urbana vegetationsytor skulle kunna användas som argument för att grönytor i städer behövs. Utan beräkningar kan det dock vara svårt att uppskatta hur stor mängd kol som kan inlagras i en vegetationsyta där principer för kolinlagring använts som gestaltningsverktyg. Således kan det därför också vara svårt att, utifrån resultatet av den här uppsatsen, dra slutsatser kring vilken betydelse gestaltade urbana kolsänkor har för arbetet med att minska mängden koldioxid i atmosfären som ett verktyg i klimatarbetet. Troligen kan landskapsarkitekter, genom att vara medvetna om hur kol inlagras i grönytor, därför göra större mätbar skillnad för kolinlagringen i stadsplanering. Detta måste dock undersökas vidare.

Vidare studier

- Kartlägga mervärden av urbana kolsänkor genom att undersöka vilka ytterligare ekosystemtjänster som kan främjas i en kolinlagrande vegetationsyta.
- Undersöka hur landskapsarkitekter kan främja kolinlagring i översiktsplanering.

6. Referenser

Referenser

Arnell, A., Casellunghe, E., Hultman, S.-G., Jansson, S., Johansson, L., Sandberg, E. & Sonnvik, P. (2009). *Naturvägledning i Sverige: en översikt*. (5). Uppsala: Institutionen för stad och land, SLU – Sveriges lantbruksuniversitet.

Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D.J. & Terradas, J. (2014). Contribution of Ecosystem Services to Air Quality and Climate Change Mitigation Policies: The Case of Urban Forests in Barcelona, Spain. *Ambio*. 43 (4), 466–479. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0507-x>

Baró, F. & Gómez-Baggethun, E. (2017). Assessing the Potential of Regulating Ecosystem Services as Nature-Based Solutions in Urban Areas. I: Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., & Bonn, A. (red.) *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas*. Cham: Springer, 139–158. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5_9

Bastin, J.-F., Finegold, Y., Garcia, C., Mollicone, D., Rezende, M., Routh, D., Zohner, C.M. & Crowther, T.W. (2019). The global tree restoration potential. *Science*. 365 (6448), 76–79. <https://doi.org/10.1126/science.aax0848>

Billbäckers plantskola (2021). *Billbäckers produktkatalog*. [Katalog]. <https://www.e-magin.se/paper/btgn6341/paper/1#/paper/btgn6341/1> [2021-04-13]

Boverket (2018). *Ekosystemtjänster i planering - metod*. Boverket. https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/Allmant-om-PBL/teman/ekosystemtjanster/metod_planering/ [2021-04-17]

Boverket (2019). *Kulturella ekosystemtjänster*. Boverket. <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/planeringsfragor/ekosystemtjanster/olika-typer-av-ekosystemtjanster/kulturella-ekosystemtjanster/> [2021-04-01]

Boverket (2020). *Ekosystemtjänster i den byggda miljön – vägledning & metod*. Boverket. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/Allmant-om-PBL/teman/ekosystemtjanster/> [2021-02-21]

Brown, S., Miltner, E. & Cogger, C. (2012). Carbon Sequestration Potential in Urban Soils. I: Lal, R. & Augustin, B. (red.) *Carbon Sequestration in Urban Ecosystems*. Dordrecht: Springer, 173–196. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2366-5_9

Buis, A. (2019). *Examining the Viability of Planting Trees to Help Mitigate Climate Change*. *Climate Change: Vital Signs of the Planet*. <https://climate.nasa.gov/news/2927/examining-the-viability-of-planting-trees-to-help-mitigate-climate-change> [2021-04-23]

Bulkeley, H. (2020). *Nature-based solution for climate mitigation - Analysis of EU-funded projects*. Luxembourg: Europeiska unionen. <https://doi.org/10.2777/458136>

Chan, K.-L., Dong, C., Wong, M.S., Kim, L.-H. & Leu, S.-Y. (2018). Plant chemistry associated dynamic modelling to enhance urban vegetation carbon sequestration potential via bioenergy harvesting. *Journal of Cleaner Production*. 197, 1084–1094. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.233>

Chen, S., Wang, W., Xu, W., Wang, Y., Wan, H., Chen, D., Tang, Z., Tang, X., Zhou, G., Xie, Z., Zhou, D., Shangguan, Z., Huang, J., He, J.-S., Wang, Y., Sheng, J., Tang, L., Li, X., Dong, M., Wu, Y., Wang, Q., Wang, Z., Wu, J., Chapin, F.S. & Bai, Y. (2018). Plant diversity enhances productivity and soil carbon storage. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 115 (16), 4027–4032. <https://doi.org/10.1073/pnas.1700298114>

Churkina, G. (2012). Carbon Cycle of Urban Ecosystems. I: Lal, R. & Augustin, B. (red.) *Carbon Sequestration in Urban Ecosystems*. Dordrecht: Springer, 315–330. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2366-5_16

Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. & Maginnis, S. (2016). *Nature-based Solutions to address global societal challenges*. Gland, Schweiz: IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>

De Deyn, G.B., Cornelissen, J.H.C. & Bardgett, R.D. (2008). Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes. *Ecology Letters*. 11 (5), 516–531. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01164.x>

Deak Sjöman, J. & Östberg, J. (2020). *i-Tree Sverige: för strategiskt arbete med träd ekosystemtjänster*. (Landskapsarkitektur trädgård växtproduktionsvetenskap., 2020:13). Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet. <https://pub.epsilon.slu.se/21754/> [2021-02-15]

Drake, B.G., González-Meler, M.A. & Long, S.P. (1997). MORE EFFICIENT PLANTS: A Consequence of Rising Atmospheric CO₂? *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 48 (1), 609–639. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.48.1.609>

Edmondson, J.L., O’Sullivan, O.S., Inger, R., Potter, J., McHugh, N., Gaston, K.J. & Leake, J.R. (2014). Urban Tree Effects on Soil Organic Carbon. *PLOS ONE*. 9 (7), e101872. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101872>

Egan, N. (2019). *Trädplantering – ingen universallösning för klimatet*. Lunds universitet. <http://www.lu.se/artikel/tradplantering-ingen-universallösning-klimatet> [2021-04-18]

Eklöf, G., Rudberg, J., & Naturskyddsföreningen (2009). *Världens skogar: mer än bara kolsänkor: rapport*. (Knäckfrågor för klimatet). Stockholm: Naturskyddsföreningen.

Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I. & Simonsson, M. (2011). *Marklära*. 1. uppl. Lund: Studentlitteratur.

Godbold, D.L., Hoosbeek, M.R., Lukac, M., Cotrufo, M.F., Janssens, I.A., Ceulemans, R., Polle, A., Velthorst, E.J., Scarascia-Mugnozza, G., De Angelis, P., Miglietta, F. & Peressotti, A. (2006). Mycorrhizal hyphal turnover as a dominant process for carbon input into soil organic matter. *Plant and Soil*. 281 (1/2), 15–24. <https://www.jstor.org/stable/24123862>

Green, J. (2018). *Guide Ekosystemtjänster*. Informationscentrum för hållbart byggande. <http://ichb.se/innehall/guider/guide-ekosystemtjanster/> [2021-02-21]

Grime, J.P. (1998). Benefits of Plant Diversity to Ecosystems: Immediate, Filter and Founder Effects. *Journal of Ecology*. 86 (6), 902–910. <https://www.jstor.org/stable/2648655>

Hansen, K., Malmaeus, M. & Lindblad, M. (2014). *Ekosystemtjänster i svenska skogar*. (IVL Rapport, B2190)

Heinonsalo, J. (2020). Termer och definitioner. I: Heinonsalo, J. (red.) *Kolguide - Översikt över kolet i marken och grunderna i kolbindande jordbruk*. 1. uppl. Helsingfors: aDigi Oy Digipaino

Hirons, A. & Sjöman, H. (2019). *Tree species selection for green infrastructure: a guide for specifiers*. Trees & Design Action Group. <http://edepot.wur.nl/461684> [2021-02-16]

Hundertmark, W.J., Lee, M., Smith, I.A., Bang, A.H.Y., Chen, V., Gately, C.K., Templer, P.H. & Hutya, L.R. (2021). Influence of landscape management practices on urban greenhouse gas budgets. *Carbon Balance and Management*. 16 (1). <https://doi.org/10.1186/s13021-020-00160-5>

Ignatieva, M. (2017). *Alternativ till gräsmatta i Sverige: Från teori till praktik*. Uppsala: Institutionen för stad och land. [2021-04-23]

IPCC (2018). Summary for Policymakers. *Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/> [2021-02-19]

IPCC (2020). Summary for Policymakers. *Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-policymakers/> [2021-02-16]

Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Johnson, D.W., Minkinen, K. & Byrne, K.A. (2007). How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*. 137 (3), 253–268. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.09.003>

Jobbágy, E.G. & Jackson, R.B. (2000). The Vertical Distribution of Soil Organic Carbon and Its Relation to Climate and Vegetation. *Ecological Applications*. 10 (2), 423–436. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0423:TVDOSO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0423:TVDOSO]2.0.CO;2)

Juuso, J. & Tuomas, M. (2020). Markens kollager i jordbruket: Odlingsmetodernas inverkan på förändringen av kollagret. I: Heinonsalo, J. (red.) *Kolguide - Översikt över kolet i marken och grunderna i kolbindande jordbruk*. 1. uppl. Helsingfors: aDigi Oy Digipaino

Kanerva, S. (2020). Inledning: Organiskt kol. I: Heinonsalo, J. (red.) *Kolguide - Översikt över kolet i marken och grunderna i kolbindande jordbruk*. 1. uppl. Helsingfors: aDigi Oy Digipaino

Keane, Å., Stenkula, U., Wijkmark, J., Johansson, E., Philipson, K. & Hård af Segerstad, L. (2014). *Ekosystemtjänster i stadsplanering - en vägledning*. C/O city. [2021-04-17]

Kerr, G. & Cahalan, C. (2004). A review of site factors affecting the early growth of ash (*Fraxinus excelsior* L.). *Forest Ecology and Management*. 188 (1), 225–234. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.016>

Kiss, M., Takács, Á., Pogácsás, R. & Gulyás, Á. (2015). The role of ecosystem services in climate and air quality in urban areas: Evaluating carbon sequestration and air pollution removal by street and park trees in Szeged (Hungary). *Moravian Geographical Reports*. 23 (3), 36–46. <https://doi.org/10.1515/mgr-2015-0016>

Lahoti, S., Lahoti, A., Joshi, R.K. & Saito, O. (2020). Vegetation Structure, Species Composition, and Carbon Sink Potential of Urban Green Spaces in Nagpur City, India. *Land*. 9 (4), 107. <https://doi.org/10.3390/land9040107>

Lennartsson, T. (2013). *Träd och buskar - Månghundraåriga historieberättare*. [Faktablad]. Riksantikvarieämbetet. <http://samla.raa.se/xmlui/handle/raa/324> [2021-04-18]

McPherson, E.G. & Simpson, J.R. (1999). *Carbon dioxide reduction through urban forestry: guidelines for professional and volunteer tree planters*. (General Technical Report (GTR)). Albany, Kalifornien: Pacific Southwest Research Station. <https://doi.org/10.2737/PSW-GTR-171>

Naturhistoriska riksmuseet (2008). *Den virtuella floran: Klibbal*. <http://linnaeus.nrm.se/flora/di/betula/alnus/alnuglu.html> [2021-04-19]

Naturvårdsverket (2018). *Naturvägledning i natur- och kulturområden - En handbok för planering och genomförande av naturvägledning i skyddade natur- och kulturområden. Ett komplement till handboken Tillgängliga natur- och kulturområden (Naturvårdsverket rapport 6562)*. (Naturvårdsverket rapport, 6846). <https://www.naturvardsverket.se/Om-Naturvardsverket/Publikationer/ISBN/6800/978-91-620-6846-2/> [2021-04-18]

Naturvårdsverket (2020). *Ekosystemtjänster är grunden för vår välfärd*. Naturvårdsverket. <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/ekosystemtjanster/> [2021-03-09]

Nordiska ministerrådet (1990). *Naturvågledning i Norden*. (52). NORD.

Nowak, D., Stevens, J.C., Sisinni, S.M. & Luley, C.J. (2002). Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide. *Journal of Arboriculture*. 28, 113–122

Ontl, T.A. & Schulte, L.A. (2012). Soil Carbon Storage. *Nature Education Knowledge*. 3 (10). <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/soil-carbon-storage-84223790/> [2021-02-26]

Poeplau, C., Marstorp, H., Thored, K. & Kätterer, T. (2016). Effect of grassland cutting frequency on soil carbon storage; a case study on public lawns in three Swedish cities. *SOIL*. 2 (2), 175–184. <https://doi.org/10.5194/soil-2-175-2016>

Priyadarshini, A. (2020). *Conducting and Analyzing Semi-Structured Interviews: A Study of Open Innovation in Food Firms in Ireland*. London: SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.4135/9781529705546>

Rasse, D.P., Rumpel, C. & Dignac, M.-F. (2005). Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant and Soil*. 269 (1–2), 341–356. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0907-y>

Rittel, H.W.J. & Webber, M.M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences*. 4 (2), 155–169. <https://doi.org/10.1007/BF01405730>

Roggema, R. (2016). Research by Design: Proposition for a Methodological Approach. *Urban Science*. 1 (1), 1–19. <https://doi.org/10.3390/urbansci1010002>

Scharenbroch, B.C. (2012). Urban Trees for Carbon Sequestration. I: Lal, R. & Augustin, B. (red.) *Carbon Sequestration in Urban Ecosystems*. Dordrecht: Springer, 121–138. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2366-5_6

Setälä, H.M., Francini, G., Allen, J.A., Hui, N., Jumpponen, A. & Kotze, D.J. (2016). Vegetation Type and Age Drive Changes in Soil Properties, Nitrogen, and Carbon Sequestration in Urban Parks under Cold Climate. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 4 (93). <https://doi.org/10.3389/fevo.2016.00093>

Singh, B. (red.) (2018). *Soil Carbon Storage: Modulators, Mechanisms and Modeling*. Elsevier Science & Technology. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/slub-ebooks/detail.action?docID=5349031> [2021-02-26]

Sjöman, H. & Slagstedt, J. (2015). *Stadsrådslexikon*. 1:3. Lund: Studentlitteratur AB.

Skogsstyrelsen (2020). *Skogen lagrar kol*. Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/miljo-och-klimat/skog-och-klimat/skogen-lagrar-kol/> [2021-03-09]

SLU (2017). *SLU vill vara ett klimatneutralt universitet inom tio år*. SLU. <https://www.slu.se/ew-nyheter/2017/11/slu-vill-vara-ett-klimatneutralt-universitet-inom-tio-ar/> [2021-03-30]

SLU (2020a). *Naturvågledning och klimatfrågorna*. SLU. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/centrum-for-naturvagledning/naturvagledning/teman/klimat/> [2021-04-18]

SLU (2020b). *Självguidande stigar*. SLU. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/centrum-for-naturvagledning/naturvagledning/verktyg/sjalvguidande-stigar/> [2021-04-05]

SLU (2020c). *Vad är naturvågledning? Definition och historik*. SLU. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/centrum-for-naturvagledning/naturvagledning/definition/> [2021-04-05]

SLU (2021a). *Hur ser SLU:s framtid på Ultuna ut?* SLU. <https://internt.slu.se/stod-service/lokaler-campus/campusutveckling/campusplan-ultuna/hur-ser-slus-framtid-pa-ultuna-ut/> [2021-03-30]

SLU (2021b). *Miljömål*. SLU. <https://internt.slu.se/stod-service/admin-stod/miljo/exempel-miljomal/> [2021-03-30]

SLU (2021c). *Trådlösa kommunikationslösningar*. SLU. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/centrum-for-naturvagledning/naturvagledning/verktyg/digitala-hjalpmedel-for-naturvagledning/tekniklosningar2/tradlosa-kommunikationslosningar/> [2021-05-12]

SLU (2021d). *Välkommen till SLU Kunskapspark*. SLU. <https://www.slu.se/om-slu/orter/uppsala/ultuna-kunskapspark/> [2021-03-17]

SLU (u.å.). *Karta SLU Kunskapspark* [Kartografiskt material]. <https://www.slu.se/om-slu/orter/uppsala/ultuna-kunskapspark/> [2021-05-19]

Sohi, S.P. (2012). Carbon Storage with Benefits. *Science*. 338 (6110), 1034–1035. <https://doi.org/10.1126/science.1225987>

Sunderland, T., Rogers, K. & Coish, N. (2012). What proportion of the costs of urban trees can be justified by the carbon sequestration and air-quality benefits they provide? *Arboricultural Journal*. 34 (2), 62–82. <https://doi.org/10.1080/03071375.2012.701416>

Sveriges arkitekter (u.å.). *Att bli och vara landskapsarkitekt*. Sveriges Arkitekter. <https://www.arkitekt.se/din-karriar/bli-arkitekt/arkitektutbildning/att-bli-och-vara-landskapsarkitekt/> [2021-04-16]

Tang, Y., Chen, A. & Zhao, S. (2016). Carbon Storage and Sequestration of Urban Street Trees in Beijing, China. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 4, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fevo.2016.00053>

Terrer, C., Phillips, R.P., Hungate, B.A., Rosende, J., Pett-Ridge, J., Craig, M.E., van Groenigen, K.J., Keenan, T.F., Sulman, B.N., Stocker, B.D., Reich, P.B., Pellegrini, A.F.A., Pendall, E., Zhang, H., Evans, R.D., Carrillo, Y., Fisher, J.B., Van Sundert, K., Vicca, S. & Jackson, R.B. (2021). A trade-off between plant and soil carbon storage under elevated CO₂. *Nature*. 591 (7851), 599–603. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03306-8>

Tilman, D. (2001). Functional Diversity. I: Levin, S.A. (red.) *Encyclopedia of Biodiversity*. Elsevier, 109–120. <https://doi.org/10.1016/B0-12-226865-2/00132-2>

Tilman, D., Hill, J. & Lehman, C. (2006). Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass. *Science*. 314 (5805), 1598–1600. <https://doi.org/10.1126/science.1133306>

Torraco, R.J. (2005). Writing Integrative Literature Reviews: Guidelines and Examples. *Human resource development review*. 4 (3), 356–367. <https://doi.org/10.1177/1534484305278283>

Tönnersjö plantskola (2017). *Tönnersjös trädguide*. [Katalog]. <https://www.tonnarsjo.se/katalog2017/mobile/index.html#p=1> [2021-04-19]

Velasco, E., Roth, M., Norford, L. & Molina, L.T. (2016). Does urban vegetation enhance carbon sequestration? *Landscape and Urban Planning*. 148, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.003>

Wang, J., Xiong, Z. & Kuzyakov, Y. (2016). Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *GCB Bioenergy*. 8 (3), 512–523. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12266>

Weissert, L.F., Salmond, J.A. & Schwendenmann, L. (2017). Photosynthetic CO₂ uptake and carbon sequestration potential of deciduous and evergreen tree species in an urban environment. *Urban Ecosystems*. 20 (3), 663–674. <https://doi.org/10.1007/s11252-016-0627-0>

Whittinghill, L.J., Rowe, D.B., Schutzki, R. & Cregg, B.M. (2014). Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems. *Landscape and Urban Planning*. 123, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.015>

Xing, Y., Jones, P. & Donnison, I. (2017). Characterisation of Nature-Based Solutions for the Built Environment. *Sustainability*. 9 (1), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su9010149>

Åkerblom, P. (2021). Testbäddar för biokolsbaserade växtsubstrat för urban miljö. Institutionen för stad och land - Ämnesgruppen för landskapsförvaltning. [Internt material]

Öberg, T. (2011). *Att skriva om natur*. 3. uppl. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet Institutionen för stad och land Centrum för naturvägledning. https://issuu.com/sverigeslantbruksuniversitet/docs/att_skriva_om_natur-tredje_tryck_20 [2021-04-05]

Figurförteckning

Figur 1: Lantmäteriet (2021). Uppsala. SWEREF 99TM. RH 2000. Flygbild [Kartografiskt material] <https://minkarta.lantmateriet.se/> [2021-04-16]

Figur 4: Lantmäteriet (2021). Uppsala. SWEREF 99TM. RH 2000. Flygbild [Kartografiskt material] <https://minkarta.lantmateriet.se/> [2021-04-16]

Figur 5: Lantmäteriet (2021). Ultuna. SWEREF 99TM. RH 2000. Flygbild [Kartografiskt material] <https://minkarta.lantmateriet.se/> [2021-04-16]

Figur 6: Lantmäteriet (2021). Ultuna. SWEREF 99TM. RH 2000. Flygbild [Kartografiskt material] <https://minkarta.lantmateriet.se/> [2021-05-18]

Underlag figur 9: Uppsala Kommun (2021) Baskarta. SWEREF 99 18 00. RH 2000. DWG [Kartografiskt material] <https://uppsalakommun.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=276180675b9a41ef80a7f21ad72ad911> [2021-03-22]

Underlag figur 15: Uppsala Kommun (2021) Baskarta. SWEREF 99 18 00. RH 2000. DWG [Kartografiskt material] <https://uppsalakommun.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=276180675b9a41ef80a7f21ad72ad911> [2021-03-22]

Underlag figur 16: Uppsala Kommun (2021) Baskarta. SWEREF 99 18 00. RH 2000. DWG [Kartografiskt material] <https://uppsalakommun.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=276180675b9a41ef80a7f21ad72ad911> [2021-03-22]

Underlag figur 17: Uppsala Kommun (2021) Baskarta. SWEREF 99 18 00. RH 2000. DWG [Kartografiskt material] <https://uppsalakommun.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=276180675b9a41ef80a7f21ad72ad911> [2021-03-22]

Underlag figur 19: Uppsala Kommun (2021) Baskarta. SWEREF 99 18 00. RH 2000. DWG [Kartografiskt material] <https://uppsalakommun.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=276180675b9a41ef80a7f21ad72ad911> [2021-03-22]

Underlag figur 20: Uppsala Kommun (2021) Baskarta. SWEREF 99 18 00. RH 2000. DWG [Kartografiskt material] <https://uppsalakommun.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=276180675b9a41ef80a7f21ad72ad911> [2021-03-22]

Underlag figur 21: Uppsala Kommun (2021)
Baskarta. SWEREF 99 18 00. RH 2000. DWG
[Kartografiskt material] <https://uppsalakommun.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=276180675b9a41ef80a7f21ad72ad911> [2021-03-22]

Underlag figur 23: Uppsala Kommun (2021)
Baskarta. SWEREF 99 18 00. RH 2000. DWG
[Kartografiskt material] <https://uppsalakommun.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=276180675b9a41ef80a7f21ad72ad911> [2021-03-22]

Underlag figur 24: Uppsala Kommun (2021)
Baskarta. SWEREF 99 18 00. RH 2000. DWG
[Kartografiskt material] <https://uppsalakommun.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=276180675b9a41ef80a7f21ad72ad911> [2021-03-22]

Underlag figur 25: Uppsala Kommun (2021)
Baskarta. SWEREF 99 18 00. RH 2000. DWG
[Kartografiskt material] <https://uppsalakommun.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=276180675b9a41ef80a7f21ad72ad911> [2021-03-22]

Underlag figur 26: Uppsala Kommun (2021)
Baskarta. SWEREF 99 18 00. RH 2000. DWG
[Kartografiskt material] <https://uppsalakommun.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=276180675b9a41ef80a7f21ad72ad911> [2021-03-22]

Underlag figur 28: Uppsala Kommun (2021)
Baskarta. SWEREF 99 18 00. RH 2000. DWG
[Kartografiskt material] <https://uppsalakommun.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=276180675b9a41ef80a7f21ad72ad911> [2021-03-22]

Underlag figur 30: Uppsala Kommun (2021)
Baskarta. SWEREF 99 18 00. RH 2000. DWG
[Kartografiskt material] <https://uppsalakommun.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=276180675b9a41ef80a7f21ad72ad911> [2021-03-22]

Underlag figur 33: Uppsala Kommun (2021)
Baskarta. SWEREF 99 18 00. RH 2000. DWG
[Kartografiskt material] <https://uppsalakommun.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=276180675b9a41ef80a7f21ad72ad911> [2021-03-22]

Underlag figur 35: Uppsala Kommun (2021)
Baskarta. SWEREF 99 18 00. RH 2000. DWG
[Kartografiskt material] <https://uppsalakommun.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=276180675b9a41ef80a7f21ad72ad911> [2021-03-22]

Övriga figurer och foton är fotograferade och skapade av författaren själv.

7. Bilagor

Bilaga 1: Intervjufrågor

Intervju 1: biokol

Ur ett urbant perspektiv, med fokus på växtbäddar i staden:

Syfte och användningsområden idag:
Hur och i vilket syfte används biokol idag?

Konstruktion:
Hur byggs en växtbädd med biokol upp? På vilket sätt behöver växtbädden med biokol underhållas för att fördelarna ska bibehållas?

Framtidsutsikter och utvecklingspotential:
Hur tror du att biokol som växtsubstrat kommer att användas i framtiden?

Intervju 2: biokol

Ur ett landskapsarkitekturperspektiv, med fokus på växtbäddar i staden:

Påverkan (positiv/negativ) på växt- och mikroliv:
Hur påverkar biokol rottillväxt och mikroliv? Och hur kan man se på växten att den påverkas av biokol?

I jämförelse:
Hur skulle du jämföra biokolsjordar med traditionella växtjordar? Hur skiljer de sig åt och när, och varför, bör man välja att använda den ena eller andra?

Framtidsutsikter och utvecklingspotential:
Vilka hinder finns för att inte använda biokol som växtsubstrat i större utsträckning än vad man redan gör idag?

Följdfrågor intervju 2: biokol:

I vilken omfattning och i vilket syfte tror du att biokol kommer användas i framtiden?

Om syftet är att inlagra kol, hur stor andel biokol kan man tillsätta?

I vilken omfattning och i vilket syfte tror du att biokol kommer användas i framtiden?

Intervju 3: mark och kolinlagring

Rubrik: Hur kan man, i en urban miljö, främja kolinlagring i jord och växter?

Har förna, i form av fallna löv och ovanjordiska växtdelar som lämnas kvar i växtbädden, direkt betydelse för ett stabilt kolförråd i jorden eller endast indirekt genom näring till markorganismer och växter?

I jämförelse med grovkorniga jordar kan finkorniga jordar binda mer organiskt material och skydda det från nedbrytning: Vilken betydelse har aggregatstrukturen för kolinlagringen? Och hur påverkar kompaktering av jordar kolförrådet?

Biokol i jorden kan, under en begränsad tid, skydda organiskt material från nedbrytning: hur?

Vad innebär rhizodeposition och hur har det betydelse för kolinlagring i jord?

Rotsystemet, dess storlek och utbredning, har betydelse för kolinlagringen: Vad menas med ”carbon input by roots”? Hur går det till?

Mykorrhiza har stor betydelse för kolinlagringen i jord; på vilket sätt? Hur har andra markorganismer betydelse för kolinlagring?

Faktorer för ökad kolinlagring i växter:

Stor bladarea
Hög veddensitet
Långlivade träd

Stora träd
Vitalitet

Går det generellt att säga att lövträd lagrar mer kol än barrträd? Vilka egenskaper är i så fall avgörande för skillnaden dem emellan?

Intervju 4: växter och kolinlagring

Vilka egenskaper hos lignoser har betydelse för hur mycket kol de kan inlagra? Och är det någon skillnad mellan lövfällande och städsegröna träd?

På vilket sätt har bladarea och veddensitet betydelse för kolinlagringen? Kan du nämna en trädart som, i jämförelse med andra, har stor bladarea och en trädart som, i jämförelse med andra, har hög veddensitet?