



# Ekosystemtjänster i nya Kirunas stadsnära skogsområde

Hur kan man balansera biologisk mångfald och  
kolinlagring ur ett skötselperspektiv med hänsyn  
till rekreation i en ny stadsnära skog?

---

Johanna Boiardt

Självständigt arbete • 15 hp  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Institutionen för skoglig ekologi och skötsel  
Skogsvetarprogrammet  
Kandidatarbete i skogsbruksvetenskap • 2026:04  
Umeå 2026



Ekosystemtjänster i det nya Kirunas stadsnära skogsområde.  
Hur kan man balansera biologisk mångfald och kolinlagring ur  
ett skötselperspektiv med hänsyn till rekreation i en ny  
stadsnära skog?

*Ecosystem services in the new Kiruna's urban forest area. How can biodiversity and carbon sequestration be balanced from a management perspective, considering recreation in a new urban forest?*

Johanna Boiardt

**Handledare:** Jonatan Klaminder, Sveriges lantbruksuniversitet,  
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

**Examinator:** Peichen Gong, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för  
skogsekonomi

**Omfattning:** 15hp

**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E

**Kurstitel:** Självständigt arbete i Skogsbruksvetenskap

**Kurskod:** EX1015

**Program/utbildning:** Skogsvetarprogrammet

**Kursansvarig inst.:** Institutionen för skoglig ekologi och skötsel

**Utgivningsort:** Umeå

**Utgivningsår:** 2026

**Omslagsbild:** bild av Johanna Boiardt

**Upphovsrätt:** Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.

**Serietitel:** Kandidatarbete i skogsbruksvetenskap

**Delnummer i serien:** 2026:04

**Nyckelord:** Heureka, ekosystemtjänster, scenarioanalys

**Sveriges lantbruksuniversitet**  
Fakulteten för skogsvetenskap  
Institutionen för skoglig ekologi och skötsel

## Sammanfattning

Dagens moderna skogsbruk måste ta hänsyn till flera ekosystemtjänster utöver biomassaproduktion, däribland bevarande av biologisk mångfald, stödjande ekosystem och klimatförändringar. Hänsyn till dessa ekosystemtjänster blir extra utmanande vid beskogning i stadsnära skogar där skogens rekreativvärde är viktigt och där skogstillväxt förväntas ske på tidigare industrimark.

Min studie syftade till att modellera den långsiktiga utvecklingen av ekosystemtjänster (skogsproduktion, kolinlagring, biodiversitet och rekreativvärden). Modelleringen gjordes på ett tidigare gruvindustriområde och på etablerad stadsnära skog påverkat av Kirunas stadsomvandling. Min studie syftade till att ge ett första beslutsunderlag för industriområdets framtida skogsutveckling och skötsel. Skötselplaner och prediktioner simulerades med det svenska skogliga beslutsstödsystemet Heureka BeståndsVis. Min studie visade att en aktiv skogsskötselstrategi med specifikt anpassade röjningar efter 5 respektive 10 år och kompletterande gallringar efter 50 respektive 70 år som gynnar biologisk mångfald levererade den bästa balansen inom ramen för studien. Strategin gav höga värden i analysen för flera diversitetsindikatorer, kolinlagringstakt och rekreativindex över analysperioden. En större utmaning för framtida restaurering bedöms ligga i markförbättrande åtgärder. Eftersom platsens markegenskaper är avgörande för trädens initiala etablering och skogsbeståndets långsiktiga vitalitet. Mina resultat skall ses som en första indikation på nya Kirunas centrumnära framtida skogar.

*Nyckelord:* ekosystemtjänster, Heureka, scenarioanalys, Kiruna

## Abstract

Modern forestry today must consider multiple ecosystem services beyond biomass production, including the conservation of biodiversity, supporting ecosystems, and climate change. Factoring in these ecosystem services becomes particularly challenging when afforesting peri-urban forests, where the recreational value of the forest is vital, and where forest growth is expected to take place on former industrial land. My study aimed to model the long-term development of ecosystem services (timber production, carbon sequestration, biodiversity, and recreational values). The modelling was conducted primarily on a former mining industry site and secondarily on established peri-urban forest affected by the urban transformation of Kiruna. My study aimed to provide an initial decision support tool for the future forest development and management of the industrial site. Management plans and predictions were simulated using the Swedish forestry decision support system Heureka StandWise. My study showed that an active forest management strategy with specifically adapted cleanings after 5 and 10 years, respectively, and complementary thinning after 50 and 70 years that promote biodiversity, delivered the best balance within the scope of the study. This strategy yielded high values in the analysis for several of the diversity

indicators, the carbon sequestration rate, and the recreation index over the analysis period. A major challenge for future restoration is assessed to lie in soil improvement measures. Since the soil properties of the site are crucial for the initial establishment of the trees and the long-term vitality of the forest stand, my results should be seen as an initial indication for the development of Kiruna's new centrally located forest.

*Keywords:* ecosystem services, Heureka, scenario analysis, Kiruna

# Innehållsförteckning

|                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tabellförteckning .....</b>                                              | <b>6</b>  |
| <b>Figurförteckning .....</b>                                               | <b>7</b>  |
| <b>Förkortningar .....</b>                                                  | <b>8</b>  |
| <b>1. Inledning .....</b>                                                   | <b>9</b>  |
| 1.1 Ekologisk kompensation och gruvdrift .....                              | 11        |
| 1.2 Kirunas stadsflytt: när skog och gruva möts .....                       | 12        |
| 1.3 Syfte och frågeställning .....                                          | 12        |
| <b>2. Material och metod .....</b>                                          | <b>13</b> |
| 2.1 Metod .....                                                             | 13        |
| 2.1.1 Områdesbeskrivning .....                                              | 13        |
| 2.1.2 Exploaterad mark (Sandmagasin) .....                                  | 14        |
| 2.2 Antaganden och scenariomodellering .....                                | 15        |
| 2.2.1 Skogliga data .....                                                   | 15        |
| 2.3 Scenarier .....                                                         | 16        |
| <b>3. Resultat .....</b>                                                    | <b>18</b> |
| 3.1 Beståndsutveckling över tid .....                                       | 18        |
| <b>4. Diskussion .....</b>                                                  | <b>23</b> |
| 4.1 Skötselstrategier och framtidens skogsetablering på sandmagasinet ..... | 23        |
| 4.2 Utmaningar, mark och metod .....                                        | 24        |
| 4.3 Slutsats .....                                                          | 25        |
| <b>Referenser .....</b>                                                     | <b>27</b> |
| <b>Tack .....</b>                                                           | <b>31</b> |

# Tabellförteckning

|                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabell 1. Definition av respektive simuleringsscenario för sandmagasinet 1–4 och befintlig skogsmark 5–6. Presenterar inledande förutsättningar i scenarioanalysen följt av vald skötselstrategi för scenariot med tillhörande målbild/hypotes för respektive scenario. .... | 16 |
| Tabell 2. Tidpunkter för respektive skötselåtgärd för varje enskilt simulerat scenario (6st) i Heureka Beståndsvis över analysperioden 100 år uppdelat i perioder om 5 år. PI=Plantering, Røj=røjning, Gal=gallring, FA=föryngringsavverkning, MB=markberedning. ....        | 18 |
| Tabell 3. Volym död ved i m <sup>3</sup> /ha för alla förmulningsklasser över analysperioden 100 år indelat i perioder om 10 år för scenario 1–6. ....                                                                                                                       | 20 |
| Tabell 4. Stamantal per hektar alla trädslag tillsammans över tid uppdelat i perioder om 10 år över analysperioden 100 år. ....                                                                                                                                              | 20 |
| Tabell 5. Trädstorleksvariation per hektar, Gini-koefficient 0–1.0. Högre värde = högre spridning. Koefficienten visar på hur mycket spridning det är mellan storleken på träden i beståndet per hektar. ....                                                                | 22 |

## Figurförteckning

- Figur 1. Översiktskarta över Kiruna med vägar och fastighetsgränser. Lantmäteriet (2026) / CC BY 4.0. Röd markering visar naturparkens placering i staden. .... 13
- Figur 2. Detaljerad områdeskarta med delområden. Lantmäteriet (2021) / CC BY 4.0.  
Område 1 = Exploaterad kalmarsmark, område 2 = etablerad äldre skog, 3 = sandmagasin. Bakgrundsbild: Ortofoto med gdal-Lidardata (Ortofoto RGBI, 0.16–0.4 m upplösning). Innehållet har bearbetats genom gränsdragning för delområdena och är ej juridiskt gällande. .... 14
- Figur 3. MAI gross, presenterar årlig tillväxt i m<sup>3</sup>sk /ha över tid för scenario 1–6.  
Heldragen linje = scenario för sandmagasin/kal mark. Streckad linje = scenario för befintlig skogsmark. .... 19
- Figur 4. Total kolinlagring över tid ton C / ha för scenario 1–6. Heldragen linje = scenario för sandmagasin/kal mark. Streckad linje = scenario för befintlig skogsmark. . 19
- Figur 5. Rekreatiönsindex för respektive scenario 1–6. I skalan 0–1, där ett värde närmare 1 innebär ett högre rekreatiönsvärde. Heldragen linje = scenario för sandmagasin/kal mark. Streckad linje=scenario för befintlig skogsmark. .... 21
- Figur 6. Trädslagsfördelning i procent per hektar (grön=björk, ljusgrön=tall, blå=gran, orange=övrigt löv) för respektive scenario (s1, s2, s3, s4, s5, s6) vid tidpunkterna efter 5, 25, 50, 75 och 100 år. .... 22

## Förkortningar

|      |                                 |
|------|---------------------------------|
| AP   | Analysperiod                    |
| HA   | Hektar                          |
| LKAB | Luossavaara Kiirunavara AB      |
| MSRS | Mine Site Restoration Standards |
| RI   | Rekreatationsindex              |

# 1. Inledning

Skog- och markanvändning innefattar idag en användarkomplexitet där skötseln måste beakta inte enbart skogsproduktion, utan också andra skogliga funktioner så som biologisk mångfald, kolinlagring och rekreation. Enligt Ebenhard et al. (2021) är mänsklig verksamhet den största drivkraften för utarmning av världens ekosystem i samtliga naturtyper. Vidare tillstyrker rapporten att markexploatering som urbanisering, skogsskötsel och utvinningsindustrier är väletablerade och direkta drivkrafter som bidrar till utarmning av ekosystem och degradering av biodiversitet. Som svar på degraderingen finns FN:s hållbarhetsmål SDG-15 gällande ekosystem och biologisk mångfald, som syftar till att motverka förluster av biologisk mångfald. United Nations (2025) beskriver i sin rapport om målen för hållbar utveckling, att man uppmuntras till hållbar markanvändning i form av att skydda, återställa och bruka skogar hållbart, samt stoppa och vända trenden för biodiversitetsförluster. I linje med detta finns det globala Kunming Montreal-ramverket, som inkluderar stadsområden. Där man på ett hållbart sätt i ”betydande grad” ska öka gröna områden med respekt och hänsyn till biologisk mångfald i stadsplaneringen så att ekologisk konnektivitet och inhemsk biologisk diversitet ökar (Convention on Biological Diversity 2022).

Biodiversitet eller biologisk mångfald, innebär den variation som finns bland levande organismer i alla miljöer inkluderat de ekologiska relationer och processer som organismerna utgör (Skogsstyrelsen 2025). I det svenska skogsbruket bidrar man till detta genom att skapa högstubbar, lämna evighetsträd, grupper av träd, spara övriga lövträdsarter samt lämna kantzoner intill vattendrag. Studier visar att många arter gynnas av både äldre skog och hög strukturell variation i skogslandskapet, exempelvis genom variation i trädens diameter och ålder, trädslagsfördelning, vegetationens skiktning och täthet, samt förekomst av död ved (Uhl et al. 2025; Nordén et al. 2014; Lindenmayer et al. 2006). Död ved anses enligt Esseen (1997) vara en av de mest inflytelserika faktorerna för biodiversitet. Död ved skapar habitat för olika arter och gynnar många idag rödlistade paraplyarter som med sin närvaro bidrar till en högre biodiversitet enligt flertal studier (Tikkanen et al. 2006; Blaser et al. 2013). Mängden död ved har därför blivit en viktig indikator för skogsbruket i syfte att avgöra om ett skogsbruk anses hållbart eller inte.

Emellertid är biodiversitet bara en aspekt av skog. Skog binder också kol samtidigt som den bidrar med förnybar råvara (Hannerz 2024). Skogstillväxt har därför både en direkt motverkande effekt på ökade halter av koldioxid i atmosfären, och samtidigt en indirekt effekt på emissioner av koldioxid då träbaserade produkter kan ersätta många fossilbaserade produkter (Högbom et al.

2025; Tuulentie et al. 2025). Sveriges miljömålsberedning SOU (2025:21) beskriver skogen och skogsmarken som det dominerande nettoupptaget av kol i Sverige. Samtidigt utgör skogsindustrin en central del av svensk ekonomi och export, där trä- och skogsprodukter har stor betydelse för landets ekonomi och internationella handel (Swedish Forest Industries Federation 2025). Under många år har svenskt skogsbruk sett positiva trender i svenska virkesförrådets storlek baserat på riksskogstaxeringens statistik, men som enligt Laudon et al. (2024) från år 2014 karaktäriseras av en negativ trend. Studien lyfter att trenden kan vara alarmerande och menar att nedgången av den skogliga tillväxten kan komma att äventyra politiska åtaganden man antagit som nation i och med klimatmålen.

Ett av de åtaganden som åligger Sverige är Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2023/839 - *Land Use, Land-Use Change and Forestry* (LULUCF). Denna förordning fastställer nationella mål för medlemsländer om hur mycket koldioxid nationerna ska binda till år 2030 i kombination med EU:s lagstiftningspaket för 55, för att minska växthusgasutsläppen med minst 55 % till år 2030 (jämfört med 1990) och nå klimatneutralitet år 2050 (European Commission 2024). Den nya revideringen av LULUCF-förordningen innebär högre krav på svenska kolsänkor där skog utgör en viktig del. För att möta dessa krav pekas återbeskogning av övergivna industriområden ut som ytor med stor potential som koldioxidsänkor (SOU 2025:21; Laudon et al. 2024). Att återföra exploaterad (ofta klassad som 'övrig mark') till skogsmark och därefter sköta skogen, har potentialen att bidra till Sveriges klimatåtaganden mot EU och samtidigt bidra till återskapandet av funktionella ekosystem på vägen.

Skogen hyser också andra ekosystemtjänster som är viktiga för människans välfärd, välmående och ekonomi (Naturvårdsverket 2017). Producerande ekosystemtjänster som materiell produktion är en stor del av den svenska skogens användning. När man ur produktionssynpunkt avverkar träd skapas avverkningsrester som kan funktionera som biobränsle eller återföra näring tillbaka till marken (Drott et al. 2019). Utöver producerande tjänster hyser skogen många stödjande- och reglerande tjänster som vattenrening och vattenreglering utgör skogen habitat/livsmiljöer för tusentals olika växt- och djurarter (Naturvårdsverket 2017). Skogsmarken är också viktig ur ett rekreationsperspektiv för folkhälsa och friluftsliv (Naturvårdsverket 2023).

Men vad är då en bra skog för rekreation?

Ofta uppskattas brukade skogar där undervegetationen är undanröjd (Tyrväinen et al 2003). Ett längre siktdjup med högre ljusinsläpp i stadsnära skogar ger ofta en känsla av trygghet. Vidare belyser studien att estetisk skötsel och skötsel för biodiversitet krockar till viss omfattning. Många människor gillar idén av ”naturliga skogar” men uppskattar samtidigt inte kvarlämnande av död ved och avverkningsrester, varför rekreativvärden och biodiversitet kan konkurrera med varandra. Acceptansen för skogens olika strukturer och utseende har att göra med vilken information om skogen som finns (Ribe 1989). Vart man kommer ifrån, det vill säga vilken bakgrund man har samt vilken kunskapsnivå om skog man har, påverkar graden av acceptans för död ved, avverkningsrester och ett mer diversitetsrikt skogslandskap. Vidare belyser studien att den ideala bilden av

skogen också beror på i vilket syfte man besöker skogen och vilka ”glasögon” man har på sig. Ribe (1989) menar fortsättningsvis på att det skiljer sig om man är i skogen för en promenad med hunden vs. fågelskådningsaktivitet eller om det är en grupp med barn som vistas i skogen. Den rekreativa skogen har många olika preferenser beroende på individ, men generella karaktärsdrag finns. Sammanfattningsvis handlar rekreationsvärde i skog ofta om tre faktorer: sikt, framkomlighet och variation. Ljusa, mer öppna skogar utan betydlig undervegetation, upplevs som positivt och variation i landskapet i helhet är välkommet.

## 1.1 Ekologisk kompensation och gruvdrift

Skogsbruket är inte den enda stora industriverksamhet som bedrivs i norr och som påverkar skogens ekosystemtjänster. Gruvdrift påverkar stora arealer och andelen mark påverkat av gruvbrytning har ökat markant på senare tid i vissa delar av världen (Young et al. 2022). Vidare förklarar studien att gruvbrytning har direkt påverkan på naturmiljöer och biologisk mångfald där aktiva omfattande restaureringsåtgärder behövs för att reparera skador på naturmiljöer och ekosystem och hantering av gruvavfall.

Gruvdrift genererar stora mängder restprodukter i form av gråberg och anrikningssand. Gråberg är det material som sorteras bort för att komma åt den värdefulla malmen, medan anrikningssand är ett finkornigt avfall som består, likt gråberg, av oönskade restmineraler som utsorteras i anrikningsprocessen via en s.k. slurry. Partiklarna har vanligtvis en storlek mellan 1 µm och 1 mm, och massorna deponeras i regel i så kallade avfallsdammar (Paktunc 1999; Ramböll 2017). Studier visar att gråberg och anrikningssand ofta saknar biologiskt tillgängligt kväve, vilket är ett tillväxtbegränsande näringsämne i boreala skogsmarker (Vitousek & Howarth 1991). I linje med detta visar Heiskanen et al. (2020) att tillförsel av kompost eller andra kvävekällor är nödvändigt för att uppnå god tillväxt på boreala anrikningssandssubstrat. Både gråberg och anrikningssand kan även innehålla giftiga metaller och surt lakvatten enligt Paktunc (1999). Att få skog att etablera sig i nedlagda gruvområden kan därför vara en utmaning. Kontaminerad mark och grundvatten kan därmed i sin tur negativt påverka kolinlagring och rekreation indirekt. Samtidigt som vegetation kan påverkas negativt av metallförorenad mark och grundvatten förklarar Wong (2003) i sin studie att det finns växter som tolererar höga metallhalter och låg näringstillförsel. Ett nordiskt trädslag som verkar ha goda chanser vid etablering på före detta anrikningssediment är tall (*Pinus Sylvestris*) (Hagner et al. 2021). Studien visar att tall i subarktiskt klimat visar sig vara robust i en markmiljö som ett sandmagasin/gruvavfall kan innebära.

Vid öppning och avveckling av gruvor förväntas företag genomföra både förebyggande åtgärder och ekologiska restaureringsinsatser i enlighet med internationella principer och riktlinjer för restaurering och återhämtning av gruvområden (MSRS) (Young et al. 2022). Ett svenskt exempel är gruvindustrins gemensamma färdplan *Mining with Nature* (Svemin 2020), där bland annat

Luossavaara Kiirunavaara AB (LKAB) i Kiruna kommun står som medfinansier. Färdplanen utgår från de åtta standarder som beskrivs i MSRS (Young et al. 2022). Dessa förutsättningar tydliggör ytterligare LKAB:s ansvar att bedriva restaureringsarbete som främjar biologisk mångfald inom Kiruna kommun.

## 1.2 Kirunas stadsflytt: när skog och gruva möts

Kiruna tvingas idag flytta stora delar av staden då staden ligger mycket nära LKAB:s gruva. Seismiska händelser i gruvan gör att marken intill staden rör sig och blir osäker. Kirunas pågående stadsomvandling innebär att nya bostads- och rekreationsområden etableras på mark som tidigare präglats av gruvindustriell verksamhet. Ett av dessa områden är den planerade "Naturparken" nordväst om Kiruna centrum, som enligt Kiruna kommuns utvecklingsplan ska utvecklas till en grön skogsmiljö med karaktär av nordisk skog och goda rekreativa kvaliteter till år 2033 (Kiruna kommun 2014). Samtidigt visar marktekniska undersökningar att området delvis består av tidigare gruvmark och inkluderar ett sandmagasin med anrikningssand (Ramböll 2017).

I anslutning till planområdet finns även äldre, grandminerad skog som utgör en del av den omkringliggande skogsområdet. Denna relation mellan befintlig skog och det planerade området utgör en viktig förutsättning för de scenarier som senare analyseras i arbetet.

## 1.3 Syfte och frågeställning

Syftet är att belysa beståndsutveckling i ett restaureringsprojekt i samband med Kirunas stadsflytt.

Följande frågeställningarna kommer tas i beaktande:

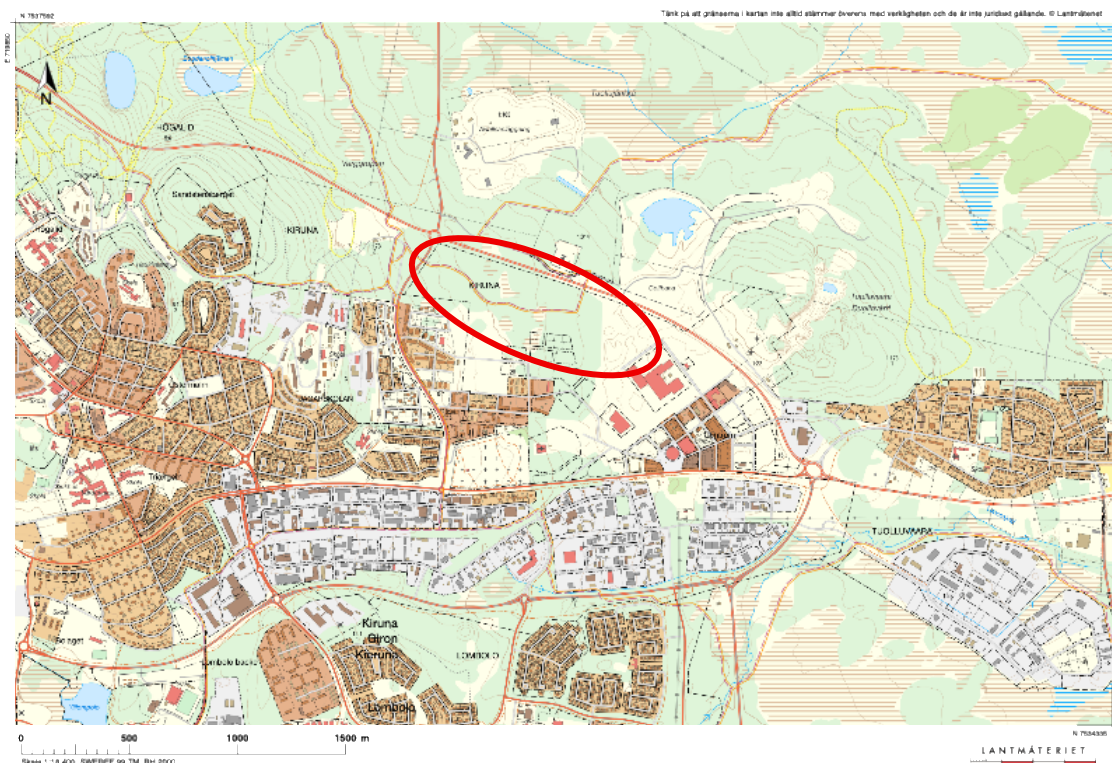
1. Hur kan en skötselplan i Kirunas subarktiska klimat utformas för att balansera biologisk mångfald och kolbindning, med fokus på trädslagen björk (*Betula spp.*), gran (*Picea abies*) och tall (*Pinus sylvestris*)?
2. Hur mycket kol beräknas området kunna lagra fram till år 2050?
3. Vilka är de största utmaningarna för att få en skog med önskade funktioner att bli växtduglig?

## 2. Material och metod

### 2.1 Metod

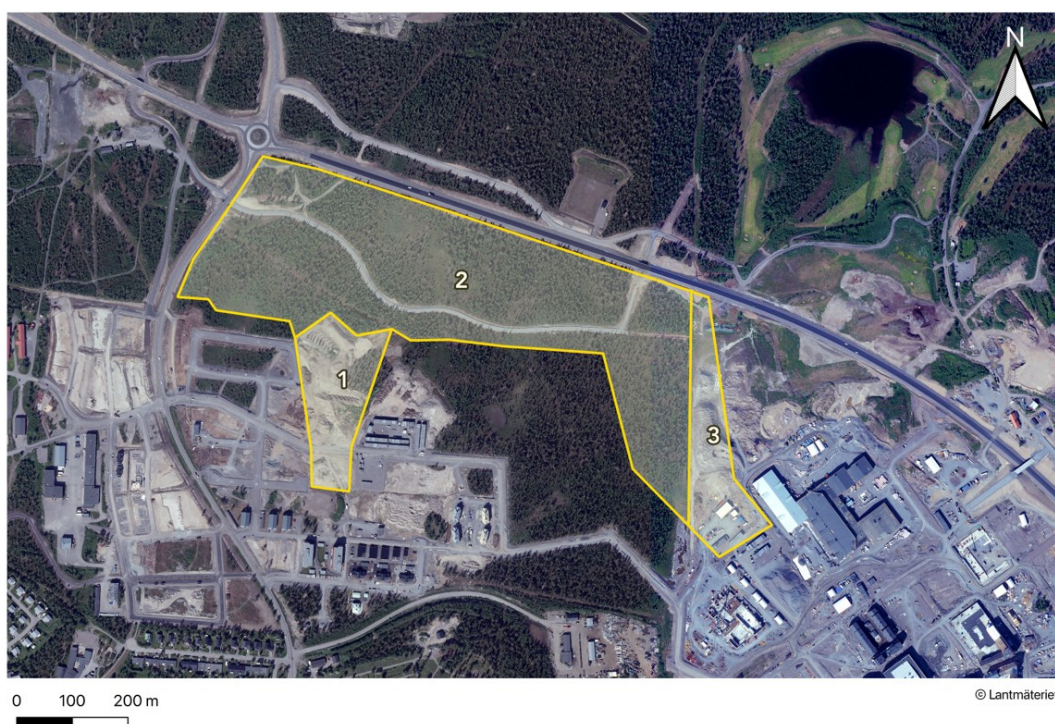
#### 2.1.1 Områdesbeskrivning

Området ligger i Norrbottens län i Kiruna kommun nordväst om Kiruna centrum (Figur 1). Latitud 67.8565° Longitud 20.2937° cirka 15 mil norr om polcirkeln. Platsen ligger i ett subarktiskt klimat där den ekologiska miljön karaktäriseras av tundra och fjäll. Det medför långa kalla vintrar med korta tillväxtsäsonger med ett genomsnitt på 124 dagar per år med start i slutet av maj månad med årsmedeltemperatur på 0° till -2°celcius (SMHI 2021).



Figur 1. Översiktskarta över Kiruna med vägar och fastighetsgränser. Lantmäteriet (2026) / CC BY 4.0. Röd markering visar naturparkens placering i staden.

Områdets totala areal uppgår till cirka 28.6 ha och är indelat i tre delområden (Figur 2). Dessa utgörs av etablerad skog (område 2) och kal industrimark (område 1 & 3). Den etablerade skogen är olikåldrig med medelålder 90 år med trädslagsfördelningen: gran (*Picea abies*) 50%, tall (*Pinus sylvestris*) 25% och björk (*Betula* spp.) 25%. Skogsmarken består delvis av produktiv skogsmark och myrimpediment. Den kala industrimarken består av ett sandmagasin i öst tidigare gruvdrift i Tuolluvaara, samt ett område i väst (område 1). Sandmagasinet utgör 3.5 hektar av totalområdet och är en del av det område Kiruna (2014) i sin detaljplan kallar Östra gröna fingret.



Figur 2. Detaljerad områdeskarta med delområden. Lantmäteriet (2021) / CC BY 4.0. Område 1 = Exploaterad kalmare, område 2 = etablerad äldre skog, 3 = sandmagasin. Bakgrundsbild: Ortofoto med gdal-Lidardata (Ortofoto RGBI, 0.16–0.4 m upplösning). Innehållet har bearbetats genom gränsdragning för delområdena och är ej juridiskt gällande.

### 2.1.2 Exploaterad mark (Sandmagasin)

Sandmagasinet karaktäriseras av flack terräng med svag sydostlig lutning med generellt yttlig grundvattennivå. Enligt markteknisk undersökning består sandmagasinet främst av anrikningssediment (sand, silt och lerig silt) ner till 9 meters djup, som följs av torv med underliggande morän Ramböll (2017). Delar av området täcktes av slam och gräs-/växtytor vid tidigare återställningsarbeten av dammvallen. Rapporten presenterade inget data på vilka typer av slam eller växtarter som fanns på dessa områden. Den marktekniska undersökningen presenterade inga värden för faktorer som vattenhållningskapacitet, pH-värde, mängd organiskt material, mängd NPK-ämnena (kväve, fosfor och kalium).

Vidare bedömdes metallhalterna i provpunkterna för anrikningssanden vara genomgående förhöjda, vilket avspeglades i rapportens analysresultat. Metallhalter från provpunkterna ställdes mot naturvårdsverkets generella riktvärden för giftiga metallhalter för känslig markanvändning. Medelvärden för området översteg dock ej gränsvärden för att marken skulle klassas som toxisk. Fortsättningsvis bedömdes sandmagasinet enligt markteknisk undersökning kunna användas för avsett ändamål. Anrikningssandens markmiljö bedömdes ha en ytterst begränsad ekologisk och biologisk aktivitet och funktion vid provtagningstillfället.

## 2.2 Antaganden och scenariomodellering

Skogstillväxt, kolinlagring, strukturell diversitet och rekreationsvärden i nya Kirunas skog modellerades med hjälp av Heureka Beståndsvis (Wikström et al., 2008). Som är ett skogligt beslutsstödsystem med en interaktiv beståndssimulator utvecklat av Sveriges lantbruksuniversitet (Wikström et al. 2011). Analysen avgränsades till parametrarna tillväxt, kolinlagring, strukturell diversitet och rekreation, där sandmagasinet valdes som fokusområde för nyetablering av skog. Någon ekonomisk analys genomfördes inte inom ramen för studien.

Ett centralt antagande i analysen var valet av bonitet (SIS), eftersom denna parameter har stor betydelse för simuleringarna i BeståndsVis. För den redan etablerade skogen antogs SIS G12, medan sandmagasinet tilldelades SIS T12 baserat på rådande markegenskaper. Genom olika inställningar för röjning och gallring, samt skapande av olika mängd död ved vid skötseltidpunkterna kunde beståndens utveckling påverkas inom respektive scenario. Variabler för ackumulerad kollagring inkluderade levande stammar, stubbar och rötter, samt död ved. Mark-kol var ej inräknat i kolbindningsvariabeln.

Som mått på rekreationsvärde användes Heurekas rekreationsindex (RI). RI bygger på regressionsmodeller och presenteras på en skala mellan 0 och 1, där högre värden indikerar högre upplevd rekreationskvalitet. Indexet baseras på skogliga faktorer såsom åldersstruktur, täthet, trädslag och mängden död ved (Heureka, 2016). Låga värden återfinns typiskt i täta ungskogar och bestånd med hög andel död ved om man inkluderar denna variabel. I detta arbete exkluderades död ved i beräkningarna då variabeln var känslig för detta. Heurekas rekreationsindex är inte tillräckligt utvecklat för att klara av att godtyckligt kalkylera död ved.

### 2.2.1 Skogliga data

Områdesgränser ritades i Q-GIS, samt extraherad/beräknad areal. Det skogliga grunddatat för det etablerade skogsbeståndet inventerades sent april månad år 2026. Indatat för tallens höjd, diameter och grundyta för scenario 3 och 4 kalibrerades efter en simulering i Heureka av tallens naturliga tillväxtkurva i Kirunas klimat.

## 2.3 Scenarier

För analysen skapades totalt sex olika skötselscenarion med syftet att studera hur olika typer av skötsel påverkar beståndsutvecklingen över en 100-årsperiod (Tabell 1). Alla scenarier simulerades med kalkylräntan 3Mark-kol var ej inräknat i kolbindningsvariabeln.

Tabell 1. Definition av respektive simuleringsscenario för sandmagasinet 1–4 och befintlig skogsmark 5–6. Presenterar inledande förutsättningar i scenarioanalysen följt av vald skötselstrategi för scenariot med tillhörande målbild/hypotes för respektive scenario.

| Scenario                                   | Inledande åtgärd år (0)                                                                                            | Skötselstrategi/åtgärd                                                                                                                                  | Målbild                                                                                     |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1 - Referens tall</b>                   | Plantering av tall <i>Pinus sylvestris</i> enligt schablon 1700 plantor/ha                                         | Heureka default, standardmässig röjning och gallring.                                                                                                   | Volymproduktion.                                                                            |
| <b>2 - Referens björk</b>                  | Plantering av björk <i>Betula spp.</i> enligt schablon 1700 plantor/ha.                                            | Heureka default, standardmässig röjning och gallring.                                                                                                   | Jämförelsetal för lövdominerad plantering.                                                  |
| <b>3 - Kolinlagring</b>                    | Solitärtallar <i>Pinus sylvestris</i> 1.5m höjd 1000 stammar/ha + björk uppslag <i>Betula spp.</i> 2500 stammar/ha | Hög andel (100%) kvarlämnat virke död ved och avverkningsrester (högstubbar/GROT). Aktiv lövröjning. Ingen föryngringsavverkning.                       | Hög kolinbinding i levande och död ved.                                                     |
| <b>4 - Diversitet</b>                      | Solitärtallar <i>Pinus sylvestris</i> 1.5m höjd 1000 stammar/ha + björk uppslag <i>Betula spp.</i> 2500 stammar/ha | Lövdominerade röjningar, naturvårdande gallring. Ingen föryngringsavverkning. Kvarlämnat virke (50% av uttaget) och GROT. Skapande av 20 högstubbar/ha. | Hög diversitet i höjdded, diameterstorlek, trädslagsfördelning, stamtäthet. Mycket död ved. |
| <b>5 - Fri utveckling (bevarande)</b>      | 600 stammar/ha, grandminerat                                                                                       | Ingen skötsel                                                                                                                                           | Låta det glesa beståndet åldras naturligt. Fokus på bevarande och befintligt kolförråd.     |
| <b>6 - Beståndsvårdande (vitalisering)</b> | 600 stammar/ha, grandminerat                                                                                       | Gallring för ökad lövandel, skapa död ved.                                                                                                              | Naturvårdande skötsel. Öka mängden död ved, verka för ökad kolinlagringstakt.               |

För sandmagasinet simulerades fyra olika scenarier. Två referensscenarier, scenario 1 och 2 (S1 & S2), där modellerna i Heureka-systemet bestämde skötseltidpunkt och intensitet utifrån standardinställningar, där skillnaden var föryngringsträdslaget. Referensscenarierna syftade till att representera ”business-as-usual” där inga särskilda skötselåtgärder för kolinlagring, biologisk mångfald eller rekreation genomfördes. I scenario 3 och 4 (S3 och S4) valdes 1.5 meter höga solitärträd av tall (*Pinus sylvestris*), eftersom tallen bedömdes ha god funktionalitet i restaureringssyfte. Dessa scenarier avsåg att representera en mer intensiv restaureringsstrategi där man i praktiken köper sig 15–20 års tillväxt genom att plantera större solitärer. För att kompensera för utebliven inväxning av björk i Heureka vid etablering av tallarna inkluderades 2 500 björkstammar i indatat för S3 och S4. Justerade parametrar omfattade bonitet, plantantal samt specifika tidpunkter för röjning och gallring i syfte att styra beståndsutvecklingen mot snabb grön etablering, rekreation och hög strukturell diversitet.

För det redan etablerade skogsbeståndet simulerades två scenarion. I scenario 5 (S5) lämnades skogen för fri utveckling. I scenario 6 (S6) sköttes skogen mot en större trädslagsblandning och högre mängd död ved. Fortsättningsvis genomfördes gallring som var ämnat att sänka medelåldern något, i ett försök att skapa en högre kolinlagringstakt, där avverkad volym lämnades som död ved i beståndet.

Resultaten för de olika scenarierna jämfördes genom en kvalitativ och visuell analys av diagram och tabeller. Genom att manuellt granska och ställa samman trender, specifika värden för de undersökta indikatorerna för respektive scenario kunde mönster identifieras.

### 3. Resultat

Resultaten delades upp i två grupper utifrån deras grundförutsättningar. Detta gjordes för att möjliggöra interna jämförelser inom respektive grupp, då grupperna inte var direkt jämförbara med varandra. Scenario 1–4 utgjorde den första gruppen, scenario S5–S6 den andra gruppen.

De sex olika scenarierna gav avsevärda skillnader i skötselinsatser (Tabell 2). Minst skötselintensivt var S3 som bara krävde en röjning vid ca 10 år och en gallring efter ca 45 år.

Mest skötselintensiva var S2 och S4. Röjning krävdes i S2 efter 20 år och slutavverkning med tillhörande markberedning och plantering efter 50 år följt av en röjning igen efter 70 år. Två röjningar krävdes i S4 efter 5 och 15 år, följt utav två gallringar efter 50 respektive 70 år.

Tabell 2. Tidpunkter för respektive skötselåtgärd för varje enskilt simulerat scenario (6st) i Heureka Beståndsvis över analysperioden 100 år uppdelat i perioder om 5 år. Pl=Plantering, Röj=röjning, Gal=gallring, FA=föryngringsavverkning, MB=markberedning.

| Scenario             | År |   |     |    |     |     |    |    |     |    |                |     |    |    |    |     |     |    |    |    |     |     |  |  |
|----------------------|----|---|-----|----|-----|-----|----|----|-----|----|----------------|-----|----|----|----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|--|--|
|                      | 0  | 5 | 10  | 15 | 20  | 25  | 30 | 35 | 40  | 45 | 50             | 55  | 60 | 65 | 70 | 75  | 80  | 85 | 90 | 95 | 100 |     |  |  |
| 1 - Tall             | Pl |   |     |    |     |     |    |    | Röj |    |                |     |    |    |    |     |     |    |    |    |     | Gal |  |  |
| 2 - Björk            | Pl |   |     |    |     | Röj |    |    |     |    | FA<br>MB<br>Pl |     |    |    |    | Röj |     |    |    |    |     |     |  |  |
| 3 - Kolinlagring     |    |   |     |    | Röj |     |    |    |     |    | Gal            |     |    |    |    |     |     |    |    |    |     |     |  |  |
| 4 - Diversitet       |    |   | Röj |    | Röj |     |    |    |     |    |                | Gal |    |    |    |     | Gal |    |    |    |     |     |  |  |
| 5 - Fri utveckling   |    |   |     |    |     |     |    |    |     |    |                |     |    |    |    |     |     |    |    |    |     |     |  |  |
| 6 - Beståndsvårdande |    |   | Gal |    |     |     |    |    |     |    | Gal            |     |    |    |    |     |     |    |    |    |     | Gal |  |  |

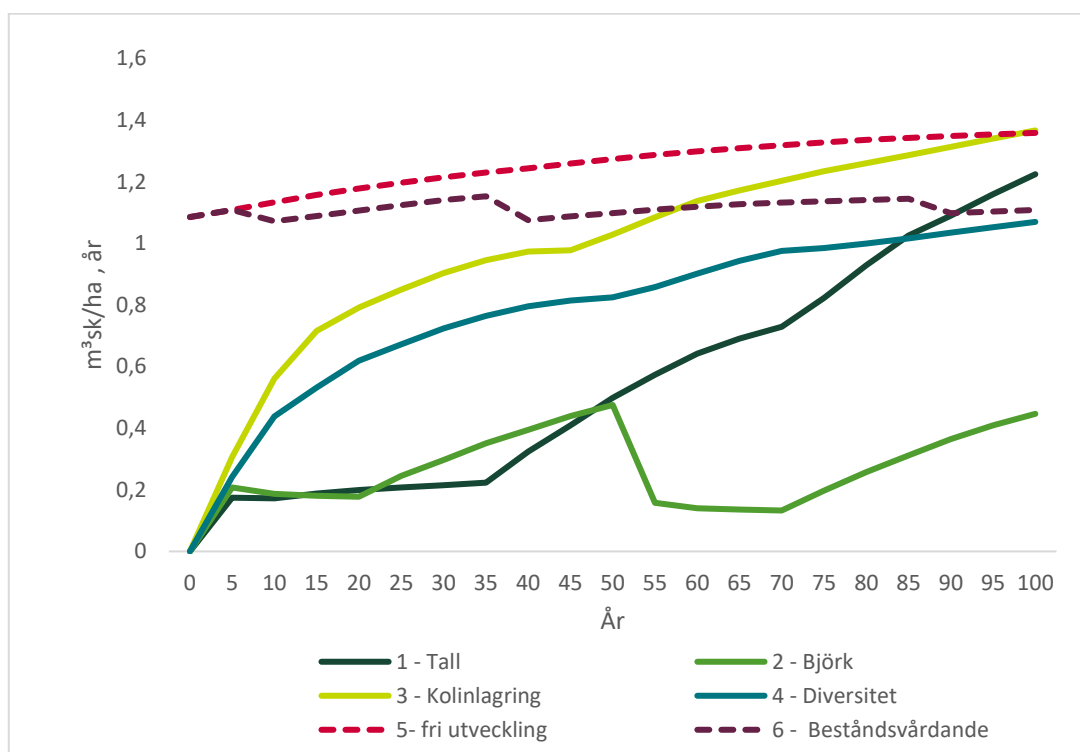
#### 3.1 Beståndsutveckling över tid

Den årliga tillväxten i S3 var högst på 1.3 m<sup>3</sup>sk/ha/år (Figur 3).

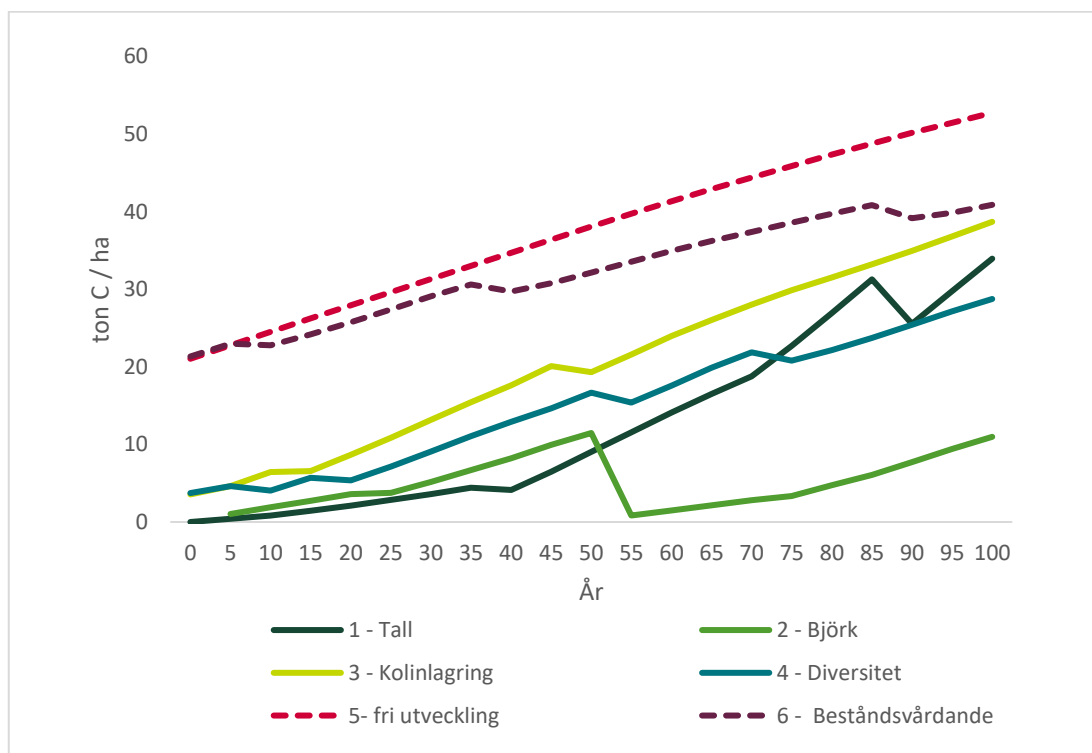
En lägre tillväxt genererades för S4 än S3 men de höll en liknande trend.

Scenario-2 hade en dipp i tillväxten vid år 50 som sammanföll med en predikterad föryngringsavverkning. Tillväxthastigheten i S1 blev högre efter år 35.

I andra gruppen skiljde sig den årliga tillväxten mellan scenarierna. Tillväxten i S6 hade tre svackor över AP som kopplar till de gallringar som utfördes efter 5, 35 och 85 år. Tillväxten för S5 kulminerade efter 10 år och tappade därefter tillväxthastigheten successivt över den resterande AP.



Figur 3. MAI gross, presenterar årlig tillväxt i  $m^3sk/ha$  över tid för scenario 1–6. Heldragen linje = scenario för sandmagasin/kal mark. Streckad linje = scenario för befintlig skogsmark.



Figur 4. Total kolinlagring över tid ton C / ha för scenario 1–6. Heldragen linje = scenario för sandmagasin/kal mark. Streckad linje = scenario för befintlig skogsmark.

Inom första gruppen genererade S3 den högsta kolinlagringen (38.7 ton C/ha) efter 100 år (Figur 4), medan S1 hade en långsam inlagringstakt fram till år 40, för att därefter ha en högre inlagringstakt för resen av AP.

Lägst kolinlagring i den första gruppen hade S2 på 11 ton C/ha i slutet av AP. I scenario-5 och 6 hade båda en övervägande positiv kolinlagring. Där S5 hade den mest kontinuerligt jämna kolinlagringen jämfört med alla scenarier över AP med ett genomsnitt på cirka +1.59 ton C/ha per varje 5-årsperiod. Däremot visade S6 på en lägre kolinlagringstakt jämfört med S5. Det beståndsvårdande scenariot visade tre svaga dippar kopplade till de gallringar som utfördes i scenariot.

Tabell 3. Volym död ved i m<sup>3</sup>/ha för alla förmutningsklasser över analysperioden 100 år indelat i perioder om 10 år för scenario 1–6.

| Scenario             | År  |     |     |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|
|                      | 10  | 20  | 30  | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  |
| 1 - Tall             | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0.3  | 0.8  | 1.9  | 3.0  | 4.2  |
| 2 - Björk            | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| 3 - Kolinlagring     | 0   | 0   | 0   | 0.1  | 1.6  | 2.3  | 3.7  | 5.5  | 7.9  | 10.6 |
| 4 - Diversitet       | 0   | 0   | 0   | 0.2  | 7.6  | 7.0  | 17.0 | 15.0 | 14.1 | 13.8 |
| 5 - Fri utveckling   | 1.3 | 2.6 | 3.9 | 5.4  | 6.5  | 8.5  | 10.6 | 12.2 | 14.6 | 16.6 |
| 6 - Beståndsvårdande | 8.2 | 7.7 | 7.4 | 16.0 | 14.3 | 10.6 | 10.9 | 12.2 | 22.2 | 20.6 |

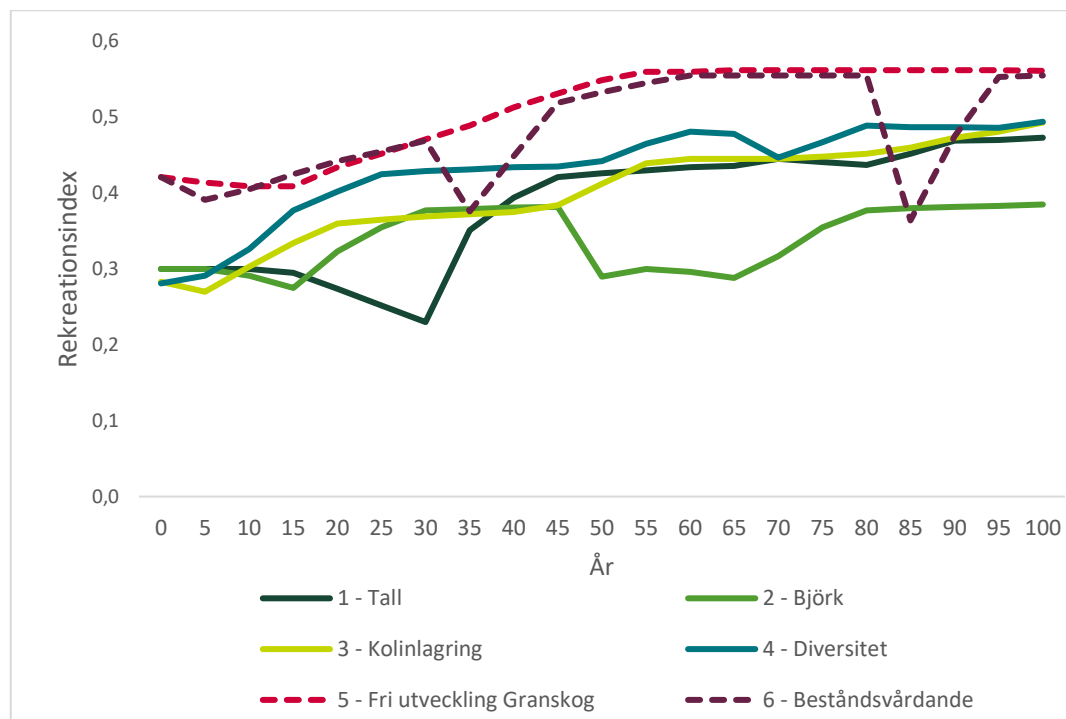
Givet volymer för död ved genererade S4 högst mängd död ved (13.8 m<sup>3</sup>/ha) i den första gruppen (Tabell 3). Följt av S3 som hade näst högst ackumulering (10.6 m<sup>3</sup>/ha). Runt år 55 genererade S1 ackumulering av död ved, som därefter hade en positiv trend över AP. Ingen död ved genererades för S2. Högst procentuell ackumulering mellan perioderna för båda grupperna hade det kolinlagringsscenario (S3), medan det beståndsvårdande (S6) hade högst total volym efter 100 år.

Tabell 4. Stamantal per hektar alla trädslag tillsammans över tid uppdelat i perioder om 10 år över analysperioden 100 år.

| Scenario             | År   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      | 5    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  |
| 1 - Tall             | 3723 | 3723 | 3723 | 3723 | 1578 | 1425 | 1338 | 1282 | 1354 | 994  | 1029 |
| 2 - Björk            | 3507 | 3507 | 2198 | 2127 | 2080 | 3291 | 3291 | 2197 | 2122 | 2070 | 2033 |
| 3 - Kolinlagring     | 3500 | 2474 | 2301 | 2199 | 2136 | 1504 | 1341 | 1338 | 1254 | 1160 | 1072 |
| 4 - Diversitet       | 2487 | 2364 | 1615 | 1528 | 1475 | 952  | 935  | 884  | 896  | 939  | 939  |
| 5 - Fri utveckling   | 641  | 672  | 709  | 717  | 705  | 677  | 641  | 601  | 563  | 533  | 512  |
| 6 - Beståndsvårdande | 598  | 628  | 679  | 729  | 680  | 675  | 682  | 632  | 586  | 516  | 510  |

Högst stamantal över tid (100 år) genererade S2 jämfört med alla scenarier (Tabell 4). Inget utmärkande max- eller minimumvärde fanns för S4 under någon av perioderna jämfört med övriga scenarier. Scenario-5 och 6 hade lägst

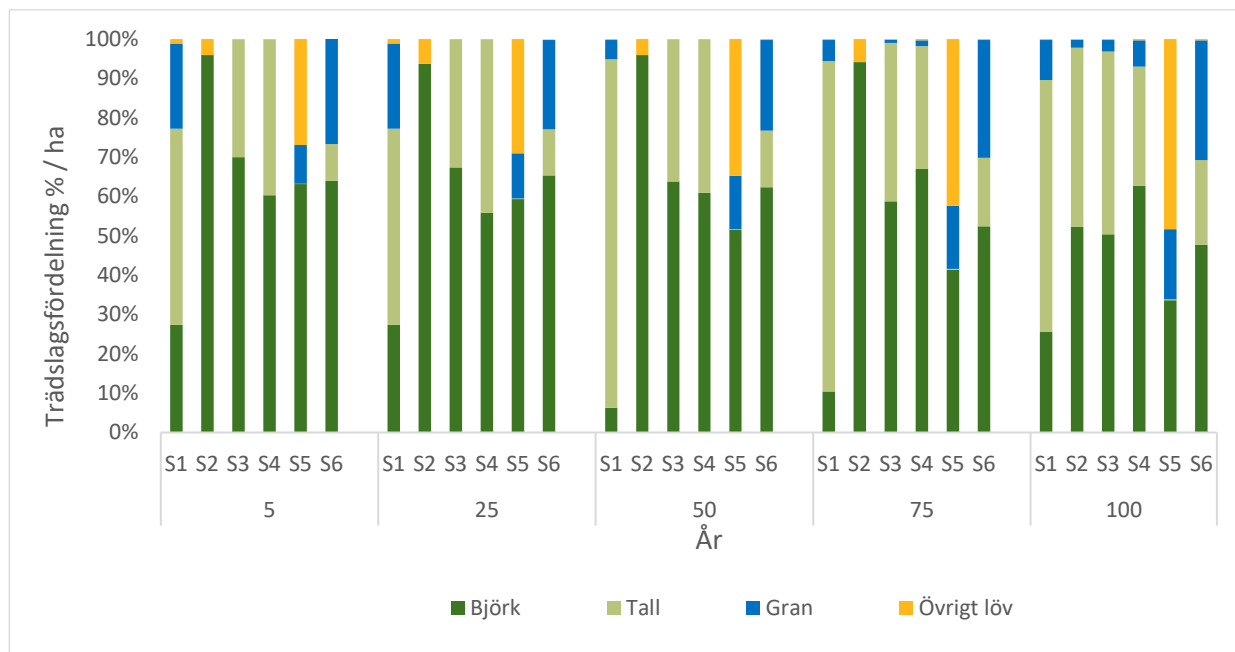
utgångsläge kring 600 stammar /ha efter 5 år och hade en viss tillökning i stamantal fram till år 50 varefter antalet reducerades för varje period över AP.



Figur 5. Rekreatiionsindex för respektive scenario 1–6. I skalan 0–1, där ett värde närmare 1 innebär ett högre rekreatiionsvärde. Heldragen linje = scenario för sandmagasin/kal mark. Streckad linje=scenario för befintlig skogsmark.

Alla scenarier hade genererat ett högre RI jämfört med utgångsläget efter 100 år (Figur 5). Scenario 1–4 genererade ett utgångsvärde av RI=0.3. Ett RI på 0.4 genererades av S4 efter 15 år, medan S2 genererade ett RI på 0.3 och hade efter 5 och 45 år två svackor i trenden. En svacka kopplat till skötselåtgärd sträckte sig från år 15–30 ner till ett RI=0.2 för S1.

S5 & 6S hade utgångsvärdet RI=0.4 (Figur 5). Rekreatiionsindex för S5 hade en positiv utveckling från år 15 men stannade av kring ett RI på ungefär 0.55 efter 55 år. En generellt positiv utveckling karaktäriserade S6 undantaget två svackor kopplade till utförda gallringar vid efter 35 och 85 år, men återhämtade sig till ett högre RI än innan svackorna.



Figur 6. Trädslagsfördelning i procent per hektar (grön=björk, ljusgrön=tall, blå=gran, orange=övrigt löv) för respektive scenario (s1, s2, s3, s4, s5, s6) vid tidpunkterna efter 5, 25, 50, 75 och 100 år.

Trädslagsfördelningen, visade att S3 och S4 inte hade en inväxning av gran och övrigt löv över AP fram till år 75 (Figur 6). Det scenario som genererade alla fyra trädslagen över hela AP var S1. Ett scenario som hade en trädslagsfördelning mellan två trädslag över majoriteten av analysperioden var S2. En etableringsstrategi med solitärer på sandmagasinet behöver många år för att inväxning av gran och övrigt löv ska genereras, björk och tall förblir dominerande under lång över AP.

Tabell 5. Trädstorleksvariation per hektar, Gini-koefficient 0–1.0. Högre värde = högre spridning. Koefficienten visar på hur mycket spridning det är mellan storleken på träden i beståndet per hektar.

| Scenario             | 5   | 15  | 25  | 35  | 45  | 50  | 55  | 60  | 65  | 70  | 75  | 80  | 85  | 90  | 95  | 100 |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 - Tall             |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| 2 - Björk            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 3 - Kolinlagring     |     |     |     |     | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| 4 - Diversitet       |     |     |     |     |     | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.6 |
| 5 - Fri utveckling   | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| 6 - Beståndsvårdande | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |

Trädstorleksvariationen var högst simulerat i S6 där koefficienten nådde 0.7 efter 50 år (Tabell 5). S5 uppvisade genomgående höga värden omkring 0.6 under hela simulationsperioden. De lägsta värdena återfanns i S1 där variationen låg mellan 0,3 och 0,4. I scenario 2 genererades inga registrerade värden för indikatorn under AP. Generellt ökade trädstorleksvariationen över tid i flera scenarier, särskilt i scenarion som främjade diversitet och fri utveckling.

## 4. Diskussion

### 4.1 Skötselstrategier och framtidens skogsetablering på sandmagasinet

Vid beslut kring återbeskogning av sandmagasinet krävs ett helhetsperspektiv där klimatnytta, biologisk mångfald och sociala värden vägs mot varandra. Resultaten visar att olika skötselstrategier ger olika styrkor på kort (20 år) respektive lång sikt (100 år), men att flera funktioner delvis kan kombineras beroende på hur skogen etableras och förvaltas. För att balansera de skogliga ekosystemtjänsterna i Kirunas subarktiska klimat krävs därför en medveten strategi. En sådan strategi kan, i enlighet med SOU (2025:21), European Commission (2024), EU (2023/839) samt Convention on Biological Diversity (2022), både möta och bidra till lokala behov och åtaganden samt de nationella klimat- och miljömål som åligger Sverige.

Beroende på scenario beräknas sandmagasinet kunna lagra cirka 3–11 ton C/ha fram till år 2050 vid återbeskogning. På längre sikt (100 år) uppskattas lagringen till mellan 11–39 ton C/ha. Den högre kolinlagringen förklaras främst av hög tillväxt och aktiv skötsel som möjliggör fortsatt kolinbindning i både levande biomassa och död ved. Det bör dock noteras att ett scenario med fri utveckling utan skogliga åtgärder potentiellt hade kunnat ge en högre inlagring över tid. Men det finns få studier som berör just skillnaden mellan skogar som lämnas för fri utveckling vs skötta med trädslaget tall. Ofta är det gran som forskningen berör. Det hade därför varit intressant att vidare jämföra modellresultaten med scenarier där naturlig succession hos tall tilläts dominera hela omloppstiden. Det bör noteras att ett scenario med fri utveckling utan skogliga åtgärder potentiellt hade kunnat generera andra resultat om man simulerat detta på de första fyra scenarierna för sandmagasinet.

En biodiversitetsstrategi med selektiv röjning och gallring kan bidra till en kontinuerlig kolinlagring jämfört med ett traditionellt trakthyggesbruk där slutavverkning tillfälligt reducerar kollagret. Försättningsvis kan en hög mängd död ved bibehållas, vilket både gynnar biodiversitet och funktion som en kontinuerlig kolsänka. Resultaten indikerar att klimatnytta och biodiversitet inte nödvändigtvis behöver stå i direkt konflikt med varandra.

En skötselstrategi med fokus på biodiversitet visade fortfarande relativt god tillväxt och kolinlagring, trots att strategin inte var optimerad för maximal kolbindning och tillväxt. Detta kan delvis förklaras av det aktiva valet att gallrat virke lämnades kvar som död ved, vilket både bidrar till kolinlagring och skapar viktiga habitatstrukturer.

För biodiversitetsindikatorer såsom trädslagsfördelning, diameterspridning och mängd död ved krävs dock lång tid innan strukturer typiska för naturnära skog utvecklas. Resultaten indikerar att begränsad eller varierad skötsel tenderar att skapa större strukturell storleksvariation mellan träden, medan mer homogena bestånd gav lägre spridning i trädstorlek.

I det subarktiska klimatet sker inväxning av gran och övriga lövträd långsamt, vilket gör att björk och tall förblir dominerande under lång tid. Resultaten indikerar att naturlig succession sannolikt behöver kompletteras med aktiv hjälpplantering för att öka trädslagsdiversiteten. Samtidigt innebär sandmagasinets osäkra ståndortsegenskaper en risk för hög naturlig avgång hos känsligare trädslag. En av de största utmaningarna blir därför att manuellt återskapa fungerande ståndortsförhållanden för exempelvis tall. Tallen är geografiskt ett vanligt trädslag i norra Sverige och kan växa i sandrik mark. Vilket indikerar ytterligare på varför trädslaget kan vara en god kandidat i ett restaureringsprojekt i det klimat som Kiruna ligger i. Tallen genererade också en högre kolinbindning än björk mellan scenarierna, vilket ytterligare motiverar trädslagsvalet. Tallen kan dock vara känslig för högt betetryck (Edenius et al. 2015). Betetrycket från exempelvis älg och andra klövdjur i det stadsnära området är svårbedömt och inget som hanterats i min modellering. Med det sagt är det önskvärt att risken för betesskador utreds då det kan påverka mina utförda prediktioner negativt.

## 4.2 Utmaningar, mark och metod

Markförutsättningarna på sandmagasinet innebär flera utmaningar, men inget som indikerar på att återbeskogning inte skulle vara omöjlig med rätt restaureringsåtgärder. Enligt den marktekniska rapporten förekommer inga metallhalter som bedöms vara växttoxiska (Ramböll 2017). Den största begränsningen bedöms enligt mig i stället vara den förmodade bristen på framför allt det växtvitala näringsämnet kväve, men också organiskt material i det ytliga markskiktet, där det sistnämnda minskar vattenförluster via evaporation, samt kan verka isolerande mot kalla temperaturer under vintern och motverka negativa effekter från tjälmarksprocesser, vilket kan förbättra etableringen tallplantorna (Erefur et al. 2008). Uttorkning och tjälskjutningar skulle sannolikt kunna innebära en hög avgång av plantor/solitärträd om man inte är noggrann i etableringsarbetet och gör insatser som exempelvis efterföljande bevattning.

Studier visar att etablering på liknande substrat i subarktiskt klimat kräver ett täckskikt av morän och organiskt material, där exempelvis biokol och

komposterat slam kan fungera som markförbättrare, förutsatt att jorddjupet är > 20 cm då tallen har ett djupgående rotsystem (Hagner et al, 2021). Alla tre studerade trädslag har en förmåga att växa i subarktiskt klimat, men när snabb etablering är målet med ytterligare kolinbindningskrav gör att markrestaureringen kan bli en avgörande förutsättning för både den kortsiktiga och långsiktiga måluppfyllnaden. Trots att metallhalter inte bedöms utgöra ett direkt hinder för växtetablering, bedömer jag att en djupare analys av markens egenskaper behövs än vad som finns i dagsläget. Sådan information är delvis avgörande för att kunna planera vilka markförbättringsåtgärder som krävs för en lyckad återbeskogning av området. Det hade exempelvis varit relevant att analysera markens pH för att utesluta sulfidoxidation som en hämmande tillväxtfaktor, undersöka markens vattenhållande kapacitet samt näringsstatus för att bättre kunna bedöma och besluta om restaureringsåtgärder.

Slutligen bör resultaten tolkas med viss försiktighet eftersom modellering i Heureka innebär en förenkling av verkliga ekologiska processer. Verkligheten befinner sig sannolikt någonstans mellan de genererade resultaten. Eftersom sandmagasinet idag saknar etablerat skogligt grunddata (kal mark) bygger ett antal indata på antaganden och approximationer. Detta innebär sannolikt en viss felmarginal, särskilt gällande naturlig avgång, inväxning och ståndortsutveckling i scenario 1–4.

Trots osäkerheterna ger simuleringarna en användbar indikation på hur olika skötselstrategier kan påverka kolinlagring, biodiversitet och rekreative värden över tid. För Kiruna kommun innebär resultaten i praktiken vid beslut en avvägning mellan att snabbt uppnå klimatmål, stärka biologisk mångfald och samtidigt skapa attraktiva livsmiljöer för invånarna fram till år 2033 och framåt.

## 4.3 Slutsats

Resultaten visar att återbeskogning av sandmagasinet i nya Kiruna har potential att utveckla ett långsiktigt fungerande stadsnära skogsekosystem som kan bidra med klimatnytta, biologisk mångfald och rekreative värden. Genom att återföra området från ”övrig mark” till skogsmark kan området på sikt utvecklas till ett multifunktionellt skogsområde med både ekologiska och sociala värden. Tall uppvisade högst potential för kolinlagring i de simulerade scenarierna och framstår därför som ett centralt trädslag för framtida etablering. Samtidigt krävs aktiva skogliga åtgärder, såsom hjälpplantering av gran och andra lövträd, för att öka trädslagsdiversiteten och motverka tallens och björkens potentiella dominans på sandmagasinet. Genom selektiv gallring och kvarlämnande av död ved kan även flera biodiversitetsindikatorer gynnas utan att kolinlagringen försämras nämnvärt.

Simuleringarna visar att området lagrar olika mängder kol fram till år 2050 beroende på vald skötselstrategi. På längre sikt fortsätter skogen både att utvecklas och binda kol, särskilt i scenarier där levande biomassa och död ved

tillåts utvecklas över tid. Resultaten indikerar därmed att olika skogliga ekosystemtjänster i vissa fall kan stärka varandra snarare än stå i direkt konflikt, samtidigt som vissa målkonflikter och trade-offs kvarstår och kräver aktiva prioriteringar inom skogsskötseln.

De största utmaningarna för återbeskogning bedöms vara markförhållandena på sandmagasinet i kombination med klimatet. Bristen på organiskt material och naturliga ståndortsegenskaper innebär att omfattande markförbättringsåtgärder sannolikt krävs för att säkerställa långsiktig etablering och utveckling av skog, särskilt för tall. Samtidigt innebär valet mellan stora solitärplantor och traditionell föryngring en avvägning mellan höga etableringskostnader och en snabbare utveckling av rekreativa värden i Kirunas subarktiska klimat, där växtsäsongerna är mycket korta. Det stadsnära läget innebär dessutom att den framtida skogen potentiellt kan få stor betydelse för rekreation och människors relation till natur i nya Kiruna. Sammantaget visar studien att en diversitetsinriktad och aktivt skött etableringsstrategi sannolikt ger bäst förutsättningar för att kombinera flera skogliga ekosystemtjänster vid återbeskogning av sandmagasinet, exklusive ekonomiska aspekter.

Sammantaget visar studien att långsiktig utveckling och skötsel av urbana skogsmiljöer i subarktiska områden kräver avvägningar mellan kolinlagring, biologisk mångfald, rekreativa värden och ekonomiskt genomförbara etableringsstrategier.

## Referenser

- Blaser, S., Prati, D., Senn-Irlet, B., Fischer, M., 2013. Effects of forest management on the diversity of deadwood-inhabiting fungi in Central European forests. *Forest Ecology and Management*. 304, 42–48.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.04.043>
- Convention on Biological Diversity (2022). *Decision adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity 15/4: Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework*. Convention on Biological Diversity.  
<https://cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-en.pdf>
- Drott, A., Anderson, S. & Eriksson, H. (2019). *Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder*. Jönköping: Skogsstyrelsen. (Rapport 2019/13).
- Ebenhard, T., Bergström, L., Hägerhäll, C., Johansson, M., Lennartsson, T., Sandström, C., Tunón, H. & Öberg Ben Ammar, L. (2021). *Utarmning och restaurering av landekosystem: ett svenskt perspektiv på IPBES-rapporten Land degradation and restoration*. (Rapport 6948). Naturvårdsverket.  
<https://www.naturvardsverket.se/globalassets/media/publikationer-pdf/6900/978-91-620-6948-3.pdf> [2024-05-22].
- Edenius, L. et al. (2015) Browsing and damage inflicted by moose in young Scots pine stands subjected to high-stump precommercial thinning, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 30(5), 382–387.  
<https://doi.org/10.1080/02827581.2015.1021374>
- Erefur, C, Bergsten, U & de Chantal, M 2008. Establishment of direct seeded seedlings of Norway spruce and Scots pine: Effects of stand conditions, orientation and distance with respect to shelter tree, and fertilisation, *Forest Ecology and Management*. 255(3-4), 1186-1195.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.10.024>
- Esseen, P.-A., Ehnström, B., Ericson, L. & Sjöberg, K. (1997). *Boreal forests*. I: Ecological Bulletins: Vol. 46. Copenhagen: Munksgaard, s. 16–47.
- Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2023/839 av den 19 april 2023 om ändring av förordning (EU) 2018/841 vad gäller tillämpningsområdet, förenkling av reglerna för rapportering och efterlevnadskontroll och fastställande av medlemsstaternas mål för 2030 och av förordning (EU) 2018/1999 vad gäller förbättrad övervakning, rapportering, uppföljning av framsteg och översyn (EUT L 107, 21.4.2023, s. 1–28).  
<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/839/oj>

- European Commission (2025). *Fit for 55: Delivering on the proposals*. European Commission.  
[https://commission.europa.eu/topics/climate-action/delivering-european-green-deal/fit-55-delivering-proposals\\_en](https://commission.europa.eu/topics/climate-action/delivering-european-green-deal/fit-55-delivering-proposals_en) [2026-05-18].
- Hagner, M., Uusitalo, M., Ruhanen, H., Heiskanen, J., Peltola, R., Tiilikkala, K., Hyvönen, J., Sarala, P. & Mäkitalo, K. (2021). Amending mine tailing cover with compost and biochar: effects on vegetation establishment and metal bioaccumulation in the Finnish subarctic. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(42), 59881–59898.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-021-14865-8>
- Hannerz, M., Arnesson Ceder, L., Eriksson, A. & Lundmark, T. *Skogen och klimatet - vad säger forskningen?* (Rapport Skog 2024:1). Sveriges lantbruksuniversitet.  
<https://doi.org/10.54612/a.5tsq9vkb4t>
- Heiskanen, J., Hagner, M., Ruhanen, H. & Mäkitalo, K. (2020). Addition of recyclable biochar, compost and fibre clay to the growth medium layer for the cover system of mine tailings: a bioassay in a greenhouse. *Environmental Earth Sciences*. 79, 422. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09154-5>
- Heureka (2016). *Recreation Value Model*.  
[https://www.heurekaslu.se/wiki/Recreation\\_Value\\_Model](https://www.heurekaslu.se/wiki/Recreation_Value_Model) [2026-05-13].
- Högbom, L., Lehtonen, A., Nybakken, L., Repo, A., Sarkkola, S. & Strömgren, M. (2025). Carbon Exchange, Storage and Sequestration. I: Rautio, P. (red.) *Continuous Cover Forestry in Boreal Nordic Countries. Managing Forest Ecosystems*, volume 45. Springer Nature. 243–268.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-031-70484-0\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-031-70484-0_13)
- Lantmäteriet (2021). *Sverigekarta. Ortofoto RGBI, 0.16-0.4 m upplösning. SWEREF 99 TM*. Ortofoto [Kartografiskt material] [2026-04-17].
- Lantmäteriet (2026). *Kiruna med vägar och fastighetsgränser. SWEREF 99 TM*. Fastighetskarta. [Kartografiskt material].  
<https://minkarta.lantmateriet.se> [2026-05-17].
- Laudon, H., Mensah, AA., Fridman, J., Näsholm, T. & Jämtgård, S. (2024). Perspectives: Swedish forest growth decline: A consequence of climate warming? *Forest Ecology and Management*. (565), 122052.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122052>
- Lindenmayer, D.B., Franklin, J.F. & Fischer, J. (2006). General management principles and a checklist of strategies to guide forest biodiversity conservation. *Biological Conservation*. 131(3), 433–445.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.02.019>
- Naturvårdsverket (2017). *Ekosystemtjänstförteckning med inventering av dataunderlag för kartläggning av ekosystemtjänster och grön infrastruktur*. (Rapport 6797). Naturvårdsverket.  
<https://www.naturvardsverket.se/4ac34d/globalassets/media/publikationer-pdf/6700/978-91-620-6797-7.pdf> [2026-05-02]

- Nordén, B, Dahlberg, A, Brandrud, TE, Fritz, Ö, Ejrnaes, R & Ovaskainen, O. (2014). Effects of ecological continuity on species richness and composition in forests and woodlands: A review. *Écoscience*, 21(1), 34–45.  
<https://doi.org/10.2980/21-1-3667>
- Paktunc, A.D. (1998). Characterization of Mine Wastes for Prediction of Acid Mine Drainage. In: Azcue, J.M. (ed.) *Environmental Impacts of Mining Activities*. Springer Berlin / Heidelberg. 19–40.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-59891-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-59891-3_3)
- Ramböll Sverige AB (2017). *Miljöteknisk markundersökning inför sanering etapp 3, Kiruna nya centrum Delområde 1–6: Miljöteknisk undersökning*. (Unr 1320023638). Ramböll Sverige AB. [internt material]
- Regeringskansliet (2023). *Det globala Kunming–Montreal-ramverket för biologisk mångfald*. (KN2023/02114). Regeringskansliet.  
<https://www.regeringen.se/contentassets/7670b53e9aa74f57ab8cd6d43ae8d257/det-globala-kunmingmontreal-ramverket-for-biologisk-mangfald.pdf> [2026-03-20]
- Ribe, R.G. (1989). The aesthetics of forestry: What has empirical preference research taught us? *Environmental Management*. 13, 55–74.  
<https://doi.org/10.1007/BF01867587>
- SOU 2025:21. Miljömålsberedningen. *Miljömålsberedningens förslag om en strategi för hur Sverige ska leva upp till EU:s åtaganden inom biologisk mångfald respektive nettoupptag av växthusgaser från markanvändningssektorn (LULUCF)*.
- Skogsstyrelsen (2025). *Biologisk mångfald*.  
<https://www.skogsstyrelsen.se/miljo-och-klimat/biologisk-mangfald/> [2026-05-19].
- SLU (2008). *BeståndVis – en simulator för analys av skogsskötsel* [faktablad]. Fakta Skog 4, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Umeå.  
[https://pub.epsilon.slu.se/3568/1/FaktaSkog\\_04\\_2008.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/3568/1/FaktaSkog_04_2008.pdf) [2026-04-18]
- SMHI, 2021. *Normalperioden 1991-2020*. Sveriges metrologiska och hydrologiska institut.  
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/normaler/normalperioden-1991-2020> [2026-04-13].
- SMHI (2021). *Excelfil med normalvärden för vegetationsperiodens start och längd för perioden 1991-2020*. Sveriges metrologiska och hydrologiska institut.  
<https://smhi.se/data/temperatur-och-vind/temperatur/dataserier-med-normalvarden-for-perioden-1991-2020> [2026-04-13]
- Svemin (2020). *Mining with Nature: Svensk gruv- och mineralnärings färdplan för ökad biologisk mångfald*. Svemin.  
[https://admin.svemin.se/app/uploads/2024/06/miningwithnature\\_sv\\_hq-1.pdf](https://admin.svemin.se/app/uploads/2024/06/miningwithnature_sv_hq-1.pdf) [2026-03-31]
- Swedish Forest Industries Federation (2025). *Facts & figures*.  
<https://www.forestindustries.se/forest-industry/statistics/facts-and-figures/> [2026-05-19]

- Tuulentie, S., Björstig, T., Hansen, I., Lande, U., McLean, P., Pellikka, J., Peltola, R. & Zhang, J. (2025). Multiple Use of Forests. I: Rautio, P. (red.) *Continuous Cover Forestry in Boreal Nordic Countries. Managing Forest Ecosystems*, volume 45. Springer Nature. 169-193.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-031-70484-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-70484-0_10)
- Tyrväinen, L., Silvennoinen, H. & Kolehmainen, O. (2003). Ecological and aesthetic values in urban forest management. *Urban Forestry & Urban Greening*. 1(3), 135–149.  
<https://doi.org/10.1078/1618-8667-00014>
- United Nations Department of Economic and Social Affairs (2025). *The Sustainable Development Goals Report 2025*. (ISSN: 2518-3915) United Nations.  
<https://unstats.un.org/sdgs/report/2025/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2025.pdf> [2026-04-21]
- Uhl, B., Schall, P. & Bässler, C. (2025). Achieving structural heterogeneity and high multi-taxon biodiversity in managed forest ecosystems: a European review. *Biodiversity and Conservation* 34, 3327–3358.  
<https://doi.org/10.1007/s10531-024-02878-x>
- Vitousek, P.M. & Howarth, R.W. (1991). Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur? *Biogeochemistry*. 13(2), 87–115.  
<https://doi.org/10.1007/BF00002772>
- Wong, M.H. (2003). Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere*, 50(6), 775–780.  
[https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00232-1](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00232-1)
- Worlanyo, A.S. & Jiangfeng, L. (2021). Evaluating the environmental and economic impact of mining for post-mined land restoration and land-use: A review. *Journal of Environmental Management*. 279, 111623.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111623>
- Young, R.E., Gann, G.D., Walder, B., Liu, J., Cui, W., Newton, V., Nelson, C.R., Tashe, N., Jasper, D., Silveira, F.A.O., Carrick, P.J., Häggglund, T., Carlsén, S. & Dixon, K. (2022). International principles and standards for the ecological restoration and recovery of mine sites. *Restoration Ecology*. 30(S2).  
<https://doi.org/10.1111/rec.13771>

# Tack

Tack Jonatan Klaminder för ett handledarskap som bidragit med kunskap, ärlighet och som inspirerat författaren att våga utmana sig själv.

Tack Hampus Holmström för bra hjälp med Heureka och scenariodiskussioner.

## Publicering och arkivering

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

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

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

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