



Länsstyrelsen
Västmanlands län

AVDELNINGEN FÖR MILJÖ

Landskapsperspektiv på Gröna Infrastrukturers lager av kol

Svartåns avrinningsområde i Västmanland 1600, 1900 och
idag

Författare: Per Angelstam, Taras Yamelynets, Michael Manton

LÄNSSTYRELSENS RAPPORTSERIE

Rapport 2021:11

Rapporten är skriven på uppdrag av Länsstyrelsen i Västmanland och författarna ansvarar själva för innehåll, slutsatser och eventuella rekommendationer.

Titel: Landskapsperspektiv på Gröna Infrastrukturers lager av kol -
Svartåns avrinningsområde i Västmanland 1600, 1900 och idag
Per Angelstam, Taras Yamelynets, Michael Manton
Avdelningen för miljö
Länsstyrelsen i Västmanlands Län
Diarienummer: 424-6113-21

Innehåll

Sammanfattning	2
Bakgrund, syfte och metodik	4
Studieområdet	5
...i rum	5
...och över tid	9
"Förr" (före 1600).....	9
"Sedan" (ca. 1900):	9
"Idag" (ca. 2020).....	10
Översikt över Svartåns avrinningsområde ca. 1600 till ca. 2020	11
Befolkning	11
Näringsliv och landtäcken	12
Metoder	13
Skogstyper med olika dynamik som gröna infrastrukturer	13
Bakgrund.....	13
Arbetsgång skog	17
Jordbruksmarker och övriga landtäcken	18
Resultat.....	18
Fördelning av ASIO-klasser på olika markförhållanden.....	18
Fördelning av landtäcken på olika ståndorter.....	23
Mängd kol förr, sedan och nu	24
Diskussion	26
Från omställning och anpassning i skogen... ..	26
...till landskapsansats som beaktar både ekologiska och sociala system.....	27
Tack.....	28
Referenser	29

Sammanfattning

Det pågår intensiva debatter på olika samhällsnivåer om skogen, om klimatet, och om skogen och klimatet. Ska skogslandskap användas för binda in och lagra kol, eller för att binda kol i biomassa som används som substitution av fossilt kol? Att det är bråttom att inte bara sträva mot ett avstannade av ökningen av växthusgaser i atmosfären, utan att halterna måste minska kraftigt, är viktiga aspekter att beakta för avvägningar om när och var man bör göra vad. Där klimatet så tillåter är skog den naturliga typen av vegetation i Sverige. En betydande del av naturskogen har dock under lång tid omvandlats till brukad skog och jordbruksmark, och infrastruktur har byggts. Detta innebär att inte bara det som är skog idag, utan hela landskapet och dess många olika ekosystemtjänster också måste beaktas när man diskuterar inlagring och lager av kol. Biologisk mångfald måste också beaktas. Samtidigt förändras människors värderingar, och nya behov och beteenden uppstår, vilka alla har betydelse för kolbalansen. Hur mycket biobränsle behövs när eldrivna fordon tar över? Vilken betydelse kommer vind och sol spela? Hur används och produceras cement, stål och plast i framtiden? Klimatet är dessutom kanske inte den viktigaste faktorn för välbefinnande och välfärd i alla delar av världen.

Denna komplexitet gör debatten om skog och klimat både rörig och motsägelsefull, och är dessutom allt annat än transparent. Starka intressen kan använda argument vars syfte egentligen är något annat än att vara klimatsmart. Klart är i alla fall att maximera lagring av kol ute i landskapet ger större effekt på kort sikt än substitution; men att inte använda biomassa är helt orealistiskt. På lång sikt kan substitution ge viss effekt, men det finns mycket stora osäkerheter. Till detta kommer politik, lagstiftning och marknadskrafter både i Sverige, EU och globalt.

Att hantera förändringar av klimat och skog inklusive annan markanvändning måste omfatta och integrera både ekologiska och sociala system, det vill säga det som geografer kallar landskap. Syftet med denna pilotstudie är betona vikten av ett landskapsperspektiv genom:

- (1) att bedöma hur landskapets lager av kol har utvecklats från ca. 1600 till idag. Detta genomfördes som en fallstudie i Västmanlands län av Svartåns avrinningsområde (776 km²) med tillhörande socknar (totalt 1882 km²).
- (2) att kartera och diskutera faktorer i både ekologiska och sociala system som bedöms ha påverkat och kommer att påverka balansen mellan upptag och utsläpp av kol.

I skogar lagras kol i levande och döda träd, på marken och i jorden. Den relativa förekomsten av olika naturliga störningsregimer, och olika typer av odling och hävd, har förändrats avsevärt över tid. Detta har lett till förändrade proportioner av skogar, bebyggd mark, jordbruksmarker och gräsmarker, och olika skogliga utvecklingsstadier, åldersfördelningar och strukturer. Detta har kraftigt sänkt den totala volymen av levande träd på olika typer av platser associerade med olika naturliga störningsregimer. Typen av naturlig skoglig störningsregim och skogsanvändningsprofil påverkar också mängden död ved. Medan i naturligt dynamiska skogar andelen stående och liggande död ved i olika nedbrytningsstadier vanligtvis uppgår till en tredjedel av den totala vedvolymen, har detta minskat till cirka 5% idag. När det gäller kol på och i marken, har markförna setts som den dominerande faktorn som påverkar nedbrytning av organiskt material i skogens ekosystem på kort sikt (årtionden). Dessutom regleras ackumulering av organiskt material i morskiktet på lång sikt (århundraden) genom processer som involverar fina rötter och mycorrhizans mycelium längre ner i marken. Även andra marktäckan än skog har lager av kol, och dessa har förändrats över tid både som andel av landskapet och den mängd kol som lagras per ytenhet. Jordbrukets intensifiering inklusive markavvattning, förlust av småbiotoper och brukningsmetoder har minskat kollagren över tid. Gräsmarkanvändningen har förändrats från naturlig delvis trädbevuxen till att vara hanterad för att ge hög avkastning. Sammantaget har detta lett till att under historisk tid har stora mängder kol flyttat upp i atmosfären. För att nå klimatmålen måste vi både få bort de fossila utsläppen, och ta bort koldioxid från atmosfären med hjälp av minusutsläpp.

Med fokus på hela Svartåns avrinningsområde i Västmanlands län tyder analyserna i denna pilotstudie på att ungefär hälften (48%) av det kol som fanns i det ”naturliga” landskapet i studieområdet har försvunnit under de senaste fyra århundradena. Förlust av gräsmarker, död ved och gammal skog är de tre främsta bidragande faktorerna.

En kolbudget för ett landskap är ett komplext system som omfattar vad som finns i dess olika delar, och från inbindning till avgivning till atmosfären. Detta omfattar flera olika kollager¹:

- 1 biomassa ovan marken i form av levande träd och andra resultat av fotosyntes
- 2 död ved ovan marken
- 3 biomassa på marken i form av förna
- 4 biomassa i marken (stubbar, rötter)
- 5 organiskt kol i marken
- 6 uttag av biomassa, och vad som händer med det virke och andra sortiment som skördats; uppskattningar av hur lång tid det tar innan de ”går upp i rök” både varierar och är osäkra.
- 7 omfattningen av substitution av fossilt kol, liksom hur kolbudgeten kommer att förändras av minskad efterfrågan (t.ex. att fordon drivs av vätgas och el och livsstilsförändringar) och skapande av ny efterfrågan (t.ex. betalning för kollagring).

Dessutom finns många andra värden än de som är klimatrelaterade att ta hänsyn till. Maximerad avverkning av biomassa har en negativ inverkan på gröna infrastrukturers funktionalitet. Genom att kombinera olika skogsbruksmetoder kan de negativa effekterna av högre avverkningsnivåer på biologisk mångfald och andra ekosystemtjänster än biomassa lindras. Landskaps sociala och kulturella värden ökar i betydelse i ett alltmer urbaniserat samhälle, och påverkas positivt av gröna infrastrukturer som skapar livsmiljöer för många olika arter. Införande och tillämpning av olika metoder för skogsskötsel, och planering på landskapsnivå, t.ex. inom ett avrinningsområde, är avgörande för att minimera de ekologiska och sociala kostnaderna för att öka avverkningsnivåerna. Huruvida omställning av samhället kommer att leda till minskade utsläpp av växthusgaser, och även minska halterna i atmosfären genom negativa emissioner, är osäkert. Kommer mänsklighetens beroende av fossilt kol att kunna minska, och tillräckligt snabbt? Försök till omställning (dvs. energiomställning och kollagring (mitigation på engelska)) behöver därför kompletteras med anpassningar (adaptation på engelska) som ger många naturnyttor. Resiliens, dvs. utveckling av anpassningsförmåga, är centralt för både ekosystem och sociala system. Exempel på kloka åtgärder i skogslandskapet är att anpassa trädslag och trädslagsblandningar till ståndort, minska betetrycket så att andelen av olika lövträdarter kan höjas, öka landskapets förmåga att ta emot och lagra vatten, och mycket mer.

Det finns många vägval för både sociala och ekologiska system, och de kan variera beroende på tidsperspektivet. Detta kräver att debattörer om skogen och klimatet kliver upp ur sina skyttegravar och nyfiket lär av varandra, baserat på evidensbaserade fakta med systemperspektiv. När alla vill ha mer av allt i landskap måste fokus vara på samverkan mellan sektorer och beslutsnivåer. Sammantaget innebär detta ett helhetsperspektiv som omfattar hela landskap med alla olika typer av markanvändning. Dessutom behövs ändrade beteenden som leder till minskad konsumtion av naturresurser.

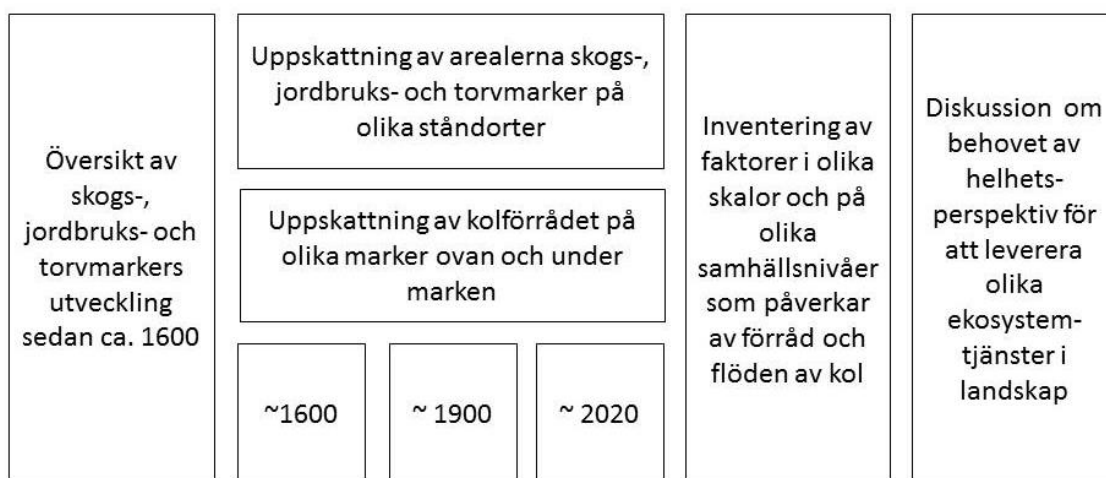
¹ EU regulation 2018/841 on the inclusion of greenhouse emissions and removals from land use, land use change and forestry in the 2030 climate and energy framework

Bakgrund, syfte och metodik

Grön infrastruktur definieras som ”nätverk av natur som bidrar till fungerande livsmiljöer för växter och djur, och till människors välbefinnande”. Olika naturliga och antropogena landtäcken bildar olika slags gröna infrastrukturer som skapar olika livsmiljöer (habitat) för arter liksom attraktiva livsmiljöer för människor, och levererar en rad olika slags ekosystemtjänster (naturnyttor). Ett exempel på ekosystemtjänst är lagring kol i landskapet, både ovan, på och under markytan, vilket påverkas av åtgärder i både sociala system på olika beslutsnivåer, och i ekologiska system olika skalor i tid och rum.

Förmågan hos ekosystem att leverera ekosystemtjänster påverkas av både tidigare och nuvarande markanvändning. Att förstå den historiska utvecklingen av olika gröna infrastrukturer (t.ex. gammelskogar, lövrika skogar, trädbärande gräsmarker, jordbruksmarker och våtmarker) kan bidra till förmågan att uppskatta hur stor potentialen för ökad kolbindning är.

Syftet med denna pilotstudie är (1) att bedöma hur landskapets lager av kol har utvecklats på lång sikt, och (2) att sammanfatta och diskutera faktorer i ekologiska och sociala system som bedöms ha påverkat, och åtgärder som kan påverka balansen mellan upptag och utsläpp av kol. Vi använde landtäckedata av olika slag för att uppskatta förekomsten av olika typer av skogar, jordbruksmarker och torvmarker på olika ståndorter och med olika dynamik vid tre tidpunkter. Dessa är det förindustriella landskapet som dominerade före 1600-talet, ca. 1900 då areella näringar bidrog som mest till befolkningen i Sverige, och dagens landskap (ca. 2020). Arbetssättet tillämpades i Västmanlands län i Svartåns avrinningsområde (776 km²) och tillhörande socknar (totalt 1882 km²). Arbetsgången sammanfattas i Figur 1. Som underlag för diskussion om behov av ett helhetsperspektiv har intervjuer, deltagande i möten och fokusgrupper med experter bidragit.



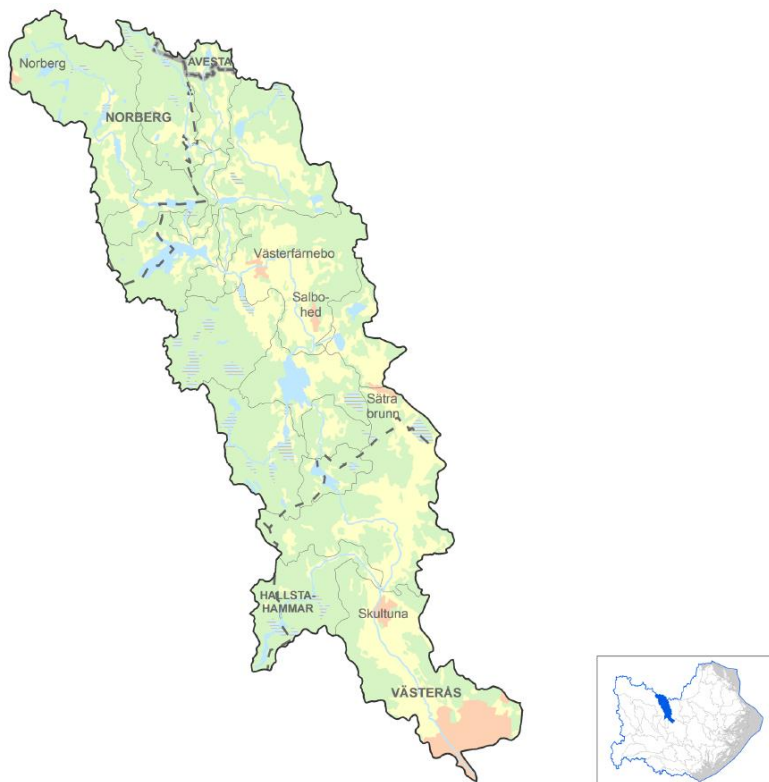
Figur 1 Beskrivning av processen som tillämpades vid produktionen av denna rapport.

Studieområdet

...i rum

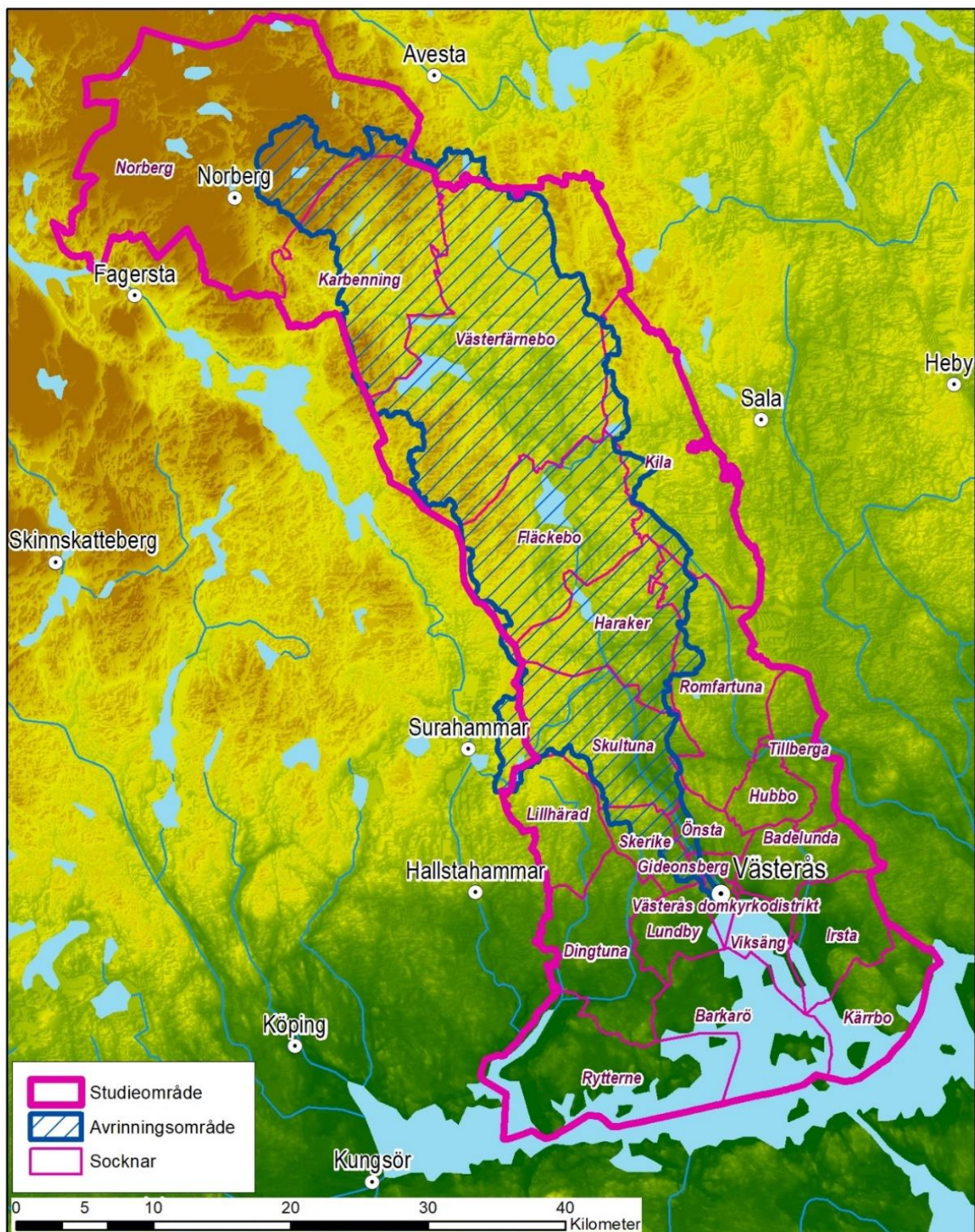
För att bedöma hur mängden kol i landskapet utvecklats, och kommer att utvecklas, behövs ett helhetsperspektiv som omfattar både ekologiska och sociala system i hela landskap.

Avrinningsområden är en naturlig avgränsning av landskap, och som fångar in mångfalden av biofysiska förutsättningar för olika landtäcken och markanvändning. Det är även nödvändigt att förstå vilka faktorer som finns utanför det valda ekologiska systemet på olika beslutsnivåer i sociala system, både i Sverige och utomlands. Vad händer med kolet i de produkter som skapas av biomassa av olika slag, och hur påverkas användningen av kol med andra ursprung? Vilka nya drivkrafter kommer att styra profilen av önskvärda ekosystemtjänster?



Figur 2 Svartåns delavrinningsområde i Norrströmsavrinningsområde i östra Mellansverige.

Diagonalt från SV till NO skär genom landskapet Västmanland, och även Västmanlands län, den så kallade Norrlandsgränsen (*Limes Norrlandicus*) (Malmgren 1982). Med basen i gradienten i höjd över havet från Mälaren (1 m över havet) till högre områden som utgör ”öar” över den högsta marina gränsen vid 184 m över havet i Norbergs kommun, så speglar denna gradient mycket av Sveriges olika typer av landskap, vegetationstyper, markanvändning och socio-ekonomiska gradienter mellan stad och land. Som fallstudie valdes Svartåns avrinningsområde i Västmanlands län (Figur 2; vattendrag id-nummer 61-27:1), från Norbergs Bergslag till utloppet i Mälaren mitt i Västerås. Svartån utgör en transekt som omfattar Västmanlands läns alla tre delregioner: nedre Bergslagen, skogslåglandet och Mälarslätten (Malmgren 1982). För att kunna använda både rumsliga digitala data och olika typer av statistik utvidgades studieområdet till att omfatta alla de 19 socknar som tillsammans täcker Svartåns avrinningsområde (Figur 3,4). Dessa består av två grupper: skogsbygd och slättbygd (Figur 5,6,7). En socken ett administrativt område som har eller har haft egen kyrka. Från och med 1 januari 2016 ersattes socknarna av distrikt, som också utgår från indelningen i församlingar.



Figur 3 Svartåns avrinningsområde och de socknar som tillsammans bildar en gradient från områden över den högsta marina gränsen i norr (>ca. 184 m över havet) till Mälaren (1 m över havet).

Historiska socknar i Västmanlands län, uppdelade efter kommun

Västerås kommun

1. Ångsö
2. Kungsåra
3. Kärbo
4. Irsta
5. Badelunda
6. Björkstå
7. Tortuna
8. Sevala
9. Tillberga
10. Hubbo
11. Romfartuna
12. Haraker
13. Skultuna
14. Lillhärad
15. Skerike
16. Sankt Ilians (ingår i nuvarande Skerike)
17. Lundby
18. Dingtuna
19. Barkarö
20. Rytterne

Hallstahammars kommun

21. Säby
22. Kolbäck
23. Svedvi (nuvarande Hallstahammars)
24. Berg

Surahammars kommun

25. Sura
26. Ramnäs

Sala kommun

27. Fläckebo
28. Kila
29. Kumla
30. Tärna
31. Norrby
32. Sala
33. Möklinta
34. Västerfärnebo

Norbergs kommun

35. Karbenning
36. Norberg

Fagersta kommun

37. Västansfors (nuvarande Fagersta)
38. Västervåla

Skinskattebergs kommun

39. Gunnilbo
40. Skinskatteberg
41. Hed

Köpings kommun

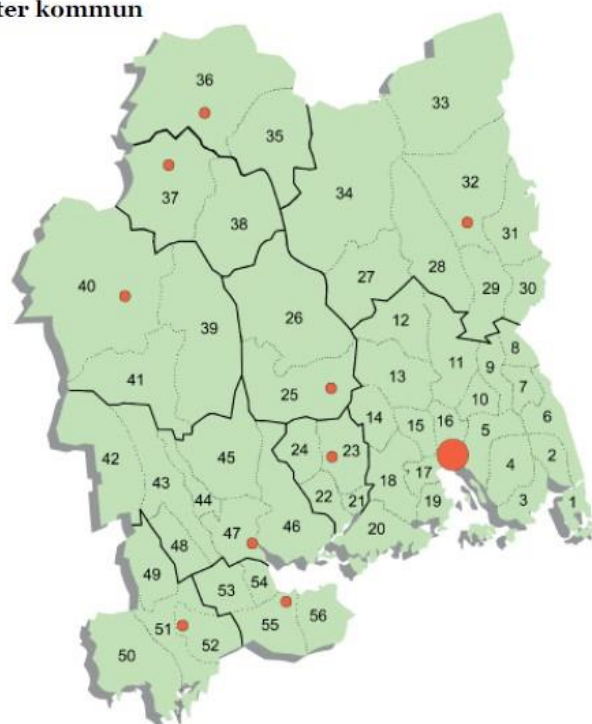
42. Västra Skedvi
43. Bro (ingår tillsammans med Malma i nuvarande Kolsva)
44. Malma (ingår tillsammans med Bro i nuvarande Kolsva)
45. Odensvi
46. Munktorp
47. Köping
48. Himmata

Arboga kommun

49. Medåker
50. Götlunda (Landskap Närke)
51. Arboga
52. Säterbo (ingår i nuvarande Arboga) (Landskap Södermanland)

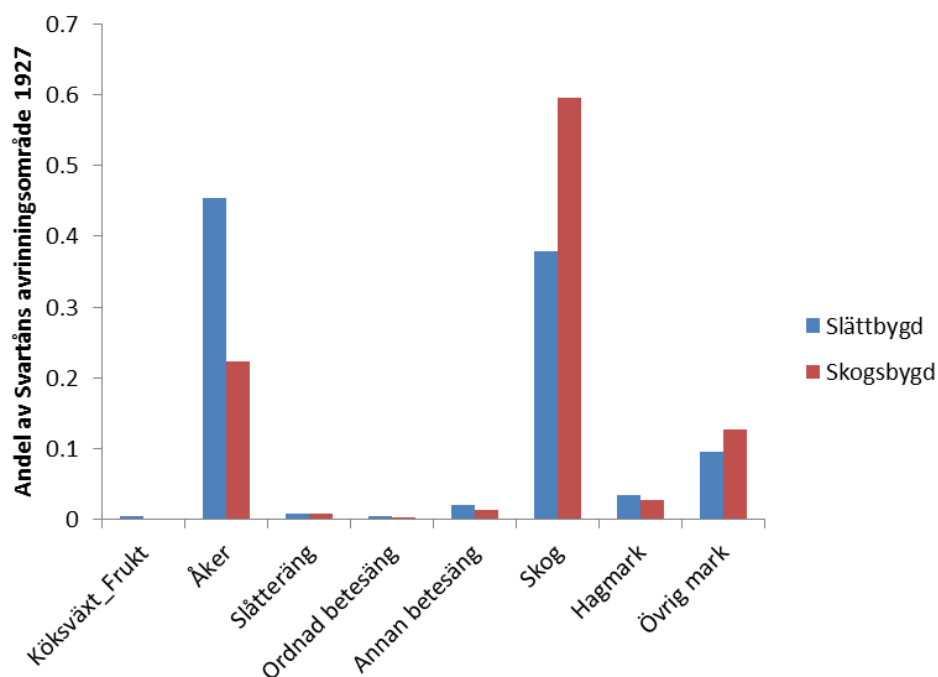
Kungsörs kommun

53. Björskog
54. Kungs-Barkarö
55. Kung Karl (Landskap Södermanland)
56. Torpa (Landskap Södermanland)

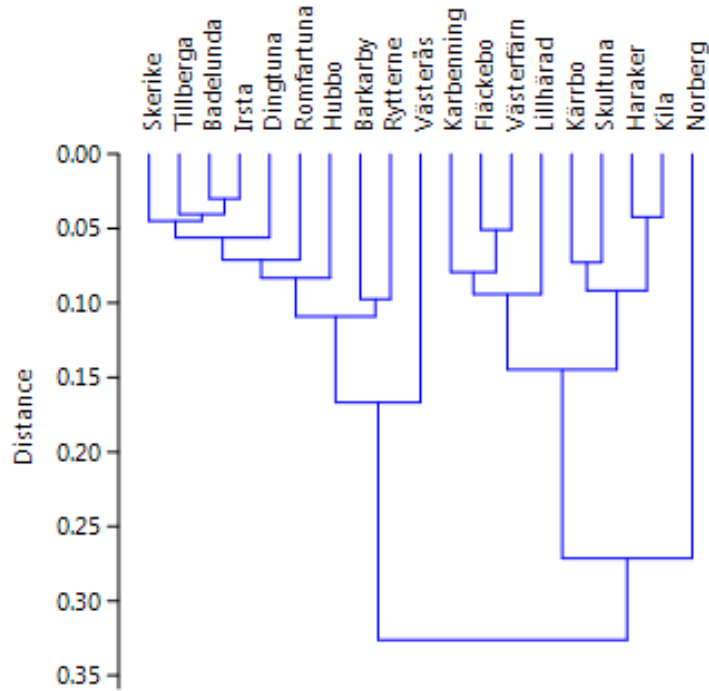


© Västmanlands läns museum

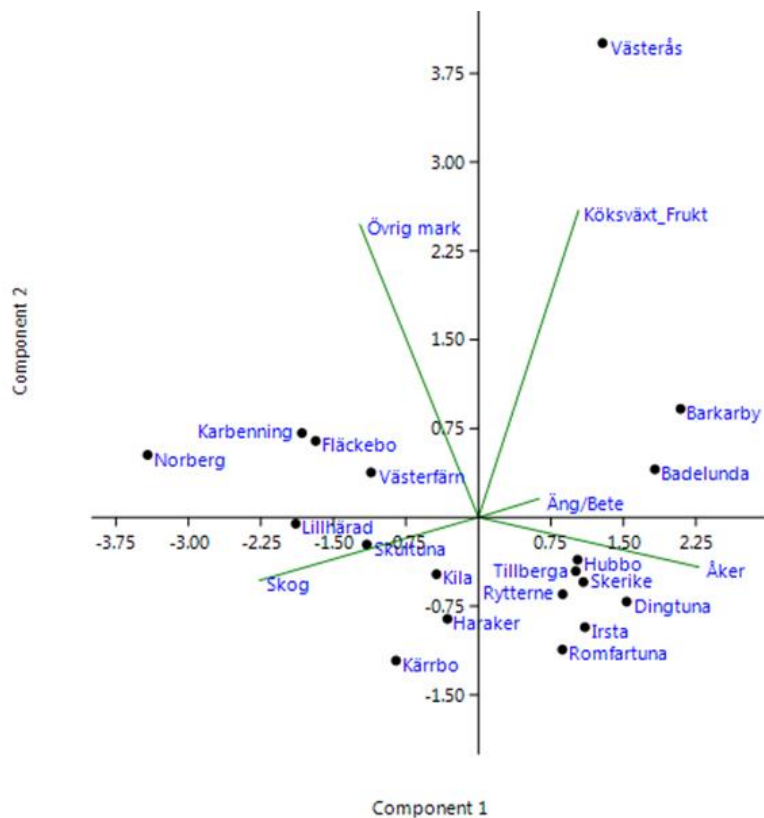
Figur 4 Socknarna i Västmanlands län. De som berör del av Svartåns avrinningsområde är markerade.



Figur 5 Fördelning på olika landtäckten i 9 socknar med skogsbygd och 10 med slättbygd.



Figur 6 De 19 socknarna inom studieområdet bildar två tydliga grupper, som domineras av skogs- respektive jordbruksmark (se Figur 5).



Figur 7 Multivariat analys av fördelningen på olika landtäcken (skog, åker, äng/bete, köksväxter/frukträd och övrig mark) i 19 socknar enligt 1927 års jordbruksräkning (Statistiska Centralbyrån 1930). Principalkomponent 1 med skog och åker som motpolerna förklarar 49% av variationen, och komponent 2 27%, dvs. totalt 76%.

...och över tid

”Förr” (före 1600)

Svartåns olika landskapstyper har genomgått flera olika faser av tidig utveckling av olika landtäckten, vilket är väl beskrivet för Västmanlands län för området söder om Bergslagen av Welinder (1974). Spår finns av svedjeröjningar i värmetidsurskogen från ca. 3100–3000 f. Kr. invid den samtida havsstranden, som låg runt 35 m över dagens nivå. Men först senare, ca. 2400–2000 f. Kr., speciellt under bronsålderns senare del och förromersk järnålder, blev uppodlingar och bosättningar permanenta. En fast byorganisation växte fram 600–700 e. Kr. Skogsområdenas nyodlingar uppströms Svartån kom till efter vikingatiden, och medeltida ortnamn antyder att dessa var koncentrerade till utkanterna av moränområden norrut. För att kunna försörja den växande befolkningen och få ut så mycket spannmål som möjligt användes en odlingsmetod som kallas för lindbruk, eller odling på Falu- eller bergsmanvis. Istället för permanenta åkrar och ängar användes i Norbergs och Färnebo socknar samma markytor, så kallade lindor, omväxlande för att odla matgrödor och för att producera hö till djuren. Bergslagsdelen längst i norr i Svartåns avrinningsområde var vildmark med enstaka boställen. Gruvor och hyttor växer gradvis fram under 1300- och 1400-talen. Finninvandring under perioden 1570–1650 ledde till bosättningar baserat på djurhållning och svedjebruk.

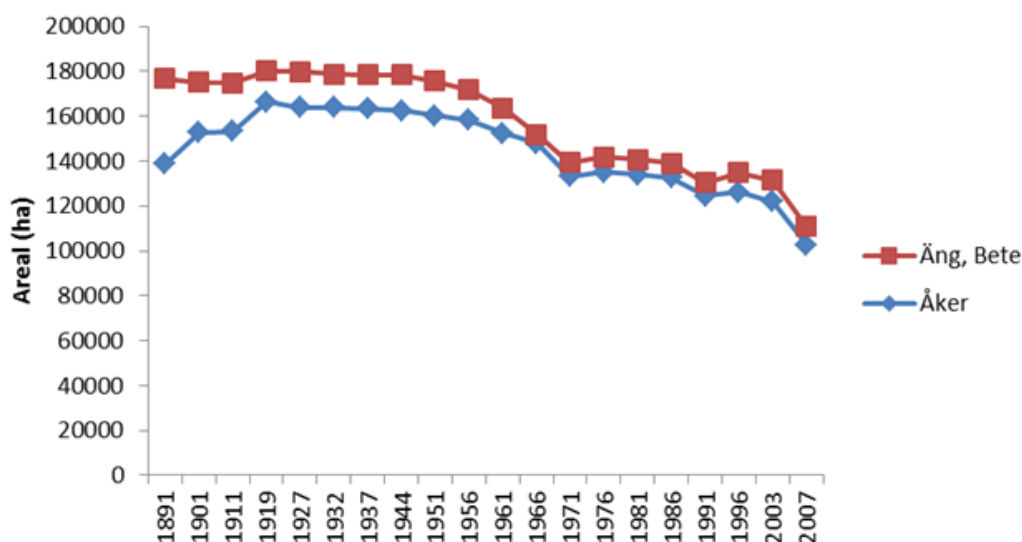
Reglering av skogsbruk till stöd för produktion av järn började med Bergskollegiets inrättande 1637, och drottning Kristinas skogsvårdslagstiftning från 1647. Detta sammanfaller med observationen att naturliga brandregimer då började undertryckas (Pinto et al. 2020). Lokalt blev vedråvara utsatt för intensivt nyttjande i form av gruvved och träkol, vilket reglerades under andra halvan av 1600-talet (Weinhagen 1947). Detta innebar att 1600-talets ”skogsbrist” i Norbergs Bergslag var högst lokal. Grau (1754:336, 345, 373) beskriver Bergslagsdelen av Västmanlands län med att *”Skogarna äro på somliga håll så täta, stora och grofva, att, jämte hvad af dem årligen tages till kolning för bruken, grufvorna och hyttorna, de äro mäktiga lämna storverksträd till hamrarnes behov samt till ortens husbyggnad”*, och som *”helt och hållet med skog beklädda höjderna”*, *”Skogarne här äro ganska och grofva”*, och det *”finnas ännu storverksträd för hammar- och hytteverkens behof”*. Stångjärnshammare byggdes under 1600-talet i Bergslagen och skogslågländet. Bebodda bygder får snart samma omfattning som idag. Under slutet av 1700-talet var oron för virkesbrist stor (Wieslander 1936), och regler började skapas med stöd av Bergskollegiet för att utveckla skogshushållningsplaner (Brynte 2002).

”Sedan” (ca. 1900):

En snabb utveckling av ordnat cirkulations- eller växeljordbruk skedde efter ca. 1850. Då var landsbygdsfolkningens storlek som störst, vilket föregår perioden med omfattande sjösänkningar, täckdikning och skogsdikning. Odlingsarealen var som störst under 1900-talets början (Figur 8). Hö som vinterfoder bärgades på backslogar, kärr- och ängsslogar fram till ca. 1930 i jordbruksbygderna, och längre i Bergslagen. För Rytterne socken längst i söder inom studieområdet beskriver Wrangel (1886) hur arealen naturlig äng under perioden 1865–1884 minskade med 60% genom olika markavvattningsföretag. Istället togs hö från vallar som anlags på åkrar, upplöjda naturliga ängar eller dikade torvmarker. Samtidigt skedde en gradvis övergång från naturgödsel med kombinerat bete och odling och vårplöjning, till att använda höstplöjning, konstgödsel och kemikalier. Sammantaget minskade detta mängden kol på och i marken.

Från 1700 till 1870 tredubblades Sveriges befolkning från 1,4 till 4,3 miljoner, och i Götaland och Svealand utom Dalarna ökade åkerarealen från 5 till 17% (Gadd 2011). För att möta den ökade efterfrågan av livsmedel från en växande befolkning fyrdubblades Sveriges åkerareal under 1800-talet (Mattson 1985, Wesström m.fl. 2017). Under perioden från 1800-talet fram till 1930 så ökade arealen åkermark från 1,5 till 3,7 miljoner hektar. Denna utveckling hade varit omöjlig utan dåtida teknikutveckling, inte minst genom täckdikning som möjliggjorde att kärr och mossar och bristfälligt

dränerad åkermark på bland annat lerslätterna kunde dikas ut (Wesström m.fl. 2017). Från 1841 och in på 1980-talet betalades statsbidrag för markavvattningsåtgärder. Lagstiftning ledde till samfälliga stamdiken. Täckdikning introducerades för att öka jordens avkastning (Mattson 1985). Detta medförde effektivare dränering, krävde mindre underhåll, och skapade förutsättningar för större sammanhängande fält. Detta gäller än idag.

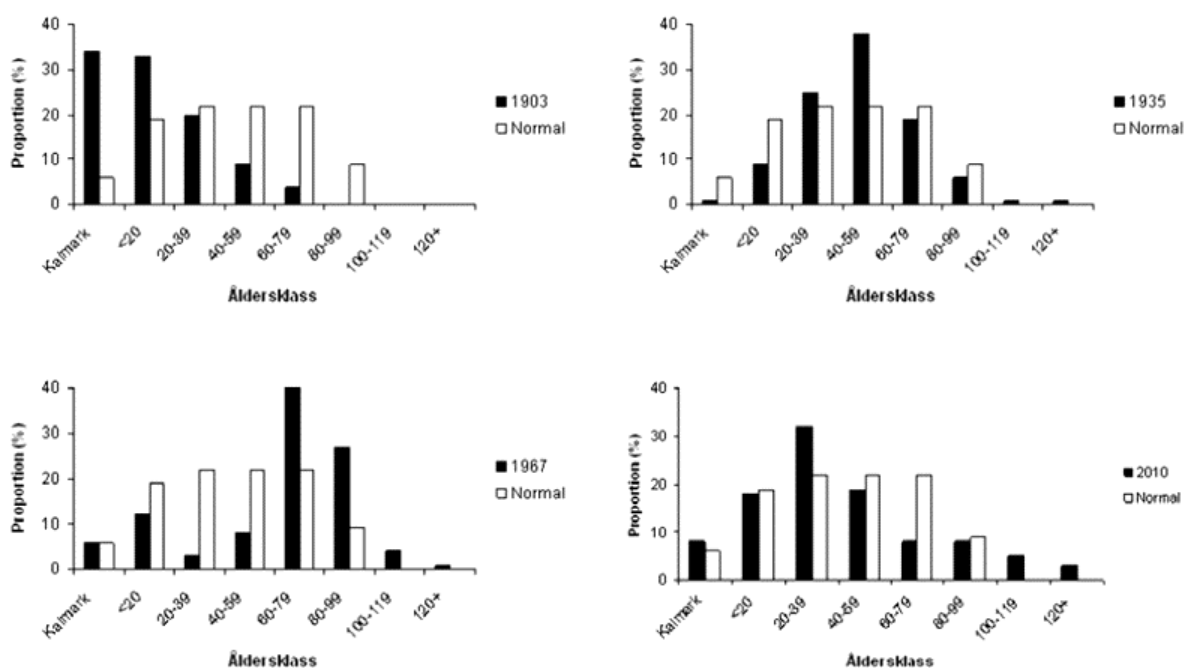


Figur 8 Arealen åker respektive olika typer av ängs- och betesmark i Västmanlands län (http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__JO__JO1901__JO1901A/Kap1T01/table/tableViewLayout1/).

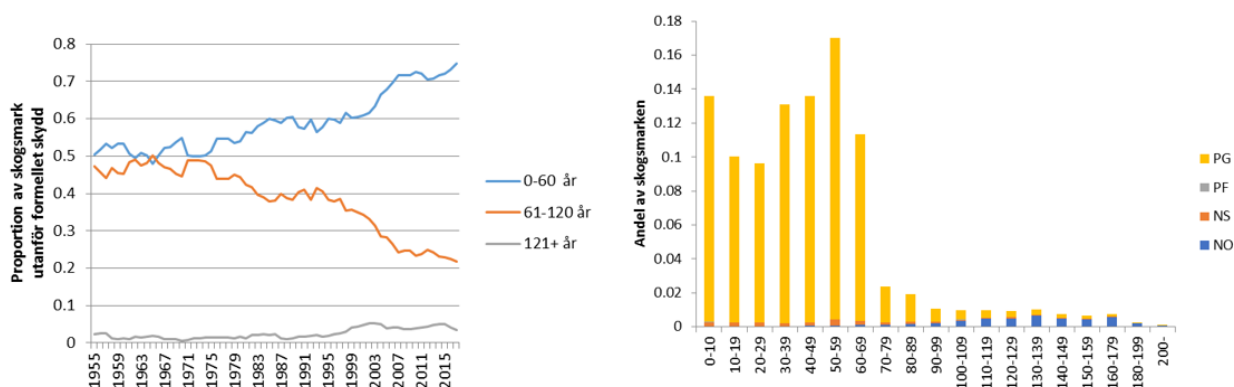
Svensk industriell skogshushållning med synen på skogen som odlingssystem precis som jordbruk har på många sätt sina rötter i Bergslagen. Att samla erfarenheter från Tyskland (Lundmark 2020), som stött på dessa utmaningar redan tidigare vid produktion av metaller, glas och pottaska, blev grunden för de första skogliga utbildningarna i Sverige (Brynte 2002). Carl Ludvig Obbarius, som rekryterats från Tyskland, och hans söner gjorde på Bergskollegiets uppdrag skogsbruksplaner för ca. 600 000 ha. Skogen användes under 1800-talet fortsatt främst för att tillverka träkol. År 1855 användes upp till drygt 90% av vedråvaran för detta ändamål, men den andelen sjönk sedan gradvis till drygt 10%, följt av en topp under andra världskriget, för att sedan upphöra under slutet av 1950-talet (Angelstam m.fl. 2013).

”Idag” (ca. 2020)

När landskapet började utnyttjas för virkesfångst var det första sättet dimensionsavverkning, det vill säga att de stora träden avverkades och resten fick vara kvar. Detta ledde till skogar med låg virkesvolym och svag tillväxt, vilket var anledningen till att samhället i slutet av 1700-talet uppmärksammade behovet att systematiskt producera större virkesvolymen på ett effektivt sätt. Traktvis avverkning med naturlig föryngring med eller utan svedjning och med 40 års omloppstid användes runt Garpenberg redan 1767. I mitten på 1800-talet hade man i Bergslagen på bred front tagit efter den tyska modellen med trakthyggesbruk. Omloppstiden var inriktad på den viktigaste produkten – gruvved (Almquist m.fl. 1980). Som en konsekvens av detta var få bestånd äldre än 60 år (Figur 9). När bergsbruket upphörde att vara den viktigaste avnämnaren för vedråvara gled företagets inriktning gradvis in på att producera timmer och massaved. Åldersfördelningen försköts därför mot en dominans av äldre skogar än tidigare (Figur 9). Dessa blev gradvis avverkningsmogna, och andelen unga och medelålders skogar ökade till våra dagar. Under de senaste ca. 40 åren har skogarna i Västmanlands län blivit allt yngre (Figur 10 till vänster, och ett exempel på typiskt storskogsbruk till höger).



Figur 9 Åldersfördelning inom Skinnskattebergs revir år 1903, 1935, 1967 och 2010 (data från Ek 1995 och Sveaskogs beståndsregister, se Angelstam m.fl. 2010), i var och en av figurena marker den önskvärda normala åldersfördelningen enligt Domänverket (Ek 1995). Domänverket blev sedermera AssiDomän och därefter Sveaskog.

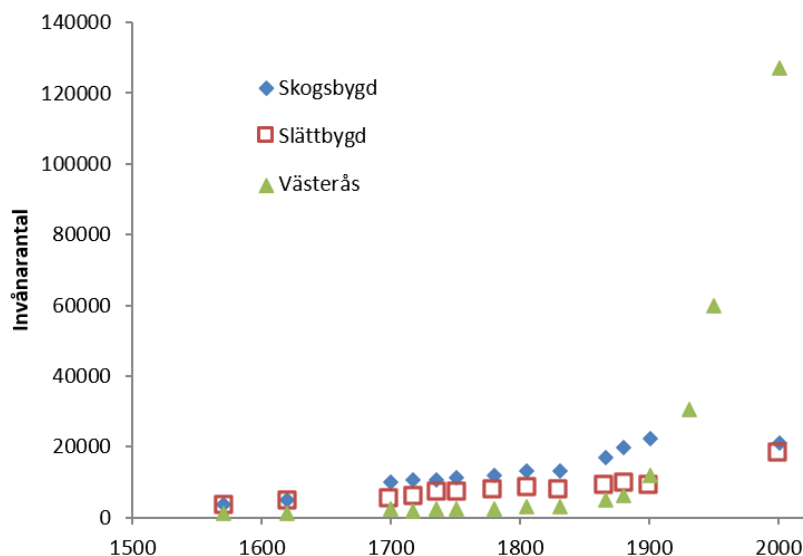


Figur 10 Till vänster skogslandskapets i Västmanlands län under perioden 1955–2017 (glidande 5-årsmedelvärden; Per Nilsson, SLU). Till höger ett exempel på storskogsbrukets åldersfördelning fördelat på de olika målklasserna PG (produktion generell naturhänsyn), PF (produktion med förstärkt naturhänsyn), NS (naturvård skötsel) och NO (naturvård orört).

Översikt över Svartåns avrinningsområde ca. 1600 till ca. 2020

Befolkning

Skogsbygdens befolkning var i stor utsträckning knuten till gruvor och järnbruk, och nådde en topp i början av 1900-talet. Idag är befolkningarna i skogs- och jordbruksbygder lika stora, medan staden Västerås har ökat kraftigt i storlek (Figur 11).



Figur 11 Befolkningens utveckling i de 19 socknar som täcker Svartåns avrinningsområde.

Näringsliv och landtäckan

De dominerande landtäckena inom studieområdet har haft en varierande profil av nyttigheter (Tabell 1) och areell omfattning (Tabell 2).

Tabell 1 Markanvändning och landtäckan i tid och rum

Århundrade	Skogsmark	Gräsmark	Åkermark	Övrig mark
1500-tal	Bete, träkol, gruvved	Äng/bete	Matproduktion	
1600-tal	Bete, träkol, gruvved	Äng/bete	Matproduktion	
1700-tal	Träkol	Äng/bete	Matproduktion	
1800-tal	Träkol	Äng/bete	Matproduktion	
1900-tal	Massaved, timmer	Äng/bete	Mat- och foderproduktion	Dikning
2000-tal	Massaved, timmer	Naturvård	Mat- och foderproduktion	

Tabell 2 Landarealen av olika ägoslag i Svartåns avrinningsområde inklusive 19 socknar vid tre tidpunkter. Dagens situation approximeras till situationen i hela Västmanlands län (Skogsfakta 2020, Tabell 1.4 avseende 2015–19), sekelskiftet 1900 som jordbruksräkningen 1927 i de ingående 19 socknarna (Statistiska Centralbyrån 1930), och bedömningar baserade på Gadd (2000:231, 239). Andelen åker ca. 2020 är utgör 63% av andelen ca. 1900, vilket stämmer med data i Figur 8 (62%).

Ägoslag	ca. 1600 (andel i %)	ca. 1900 (andel i %)	ca. 2020 (andel i %)
Åker	ca. 5	35	22
Gräsmarker (äng, bete och svedja)	ca. 15	6	2
Skog	ca. 70	48	65
Övrig mark	ca. 10	11	11
SUMMA	100	100	100

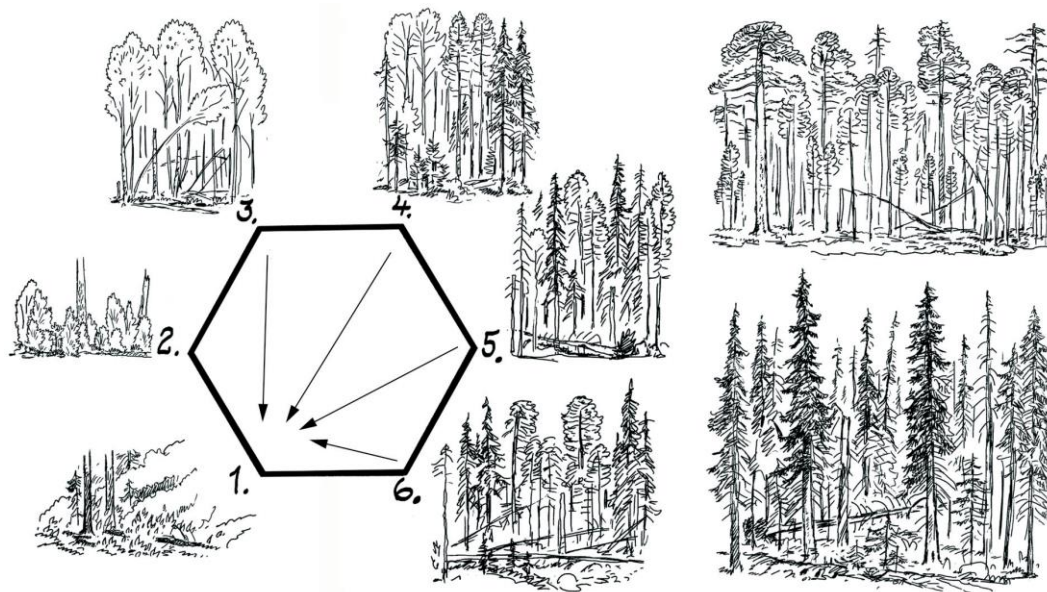
Metoder

Skogstyper med olika dynamik som gröna infrastrukturer

Bakgrund

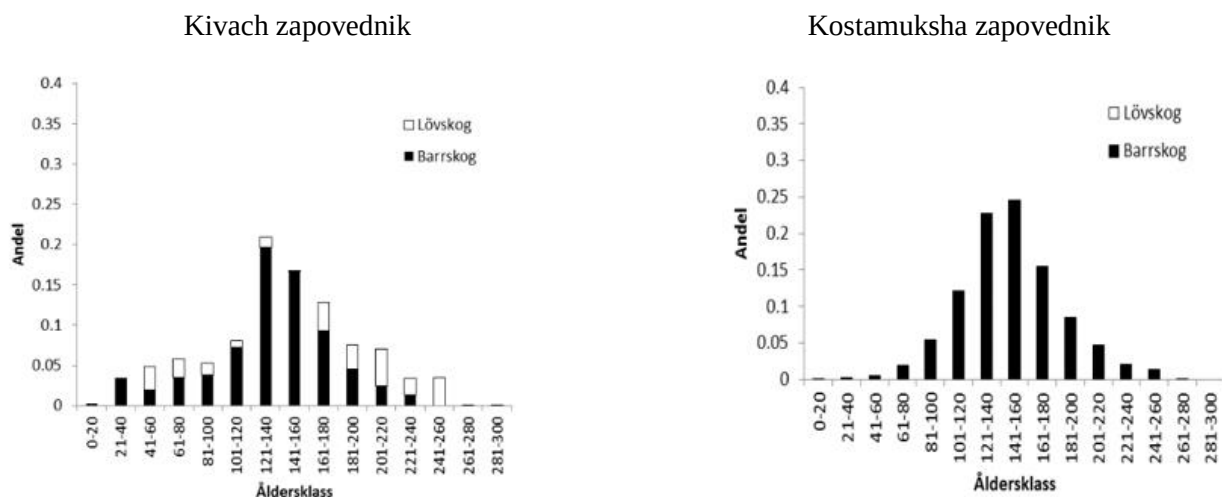
Kol kan lagras i levande och döda träd, på och i marken. Skogslandskapets åldersfördelning i tid och rum för levande träd och bestånd speglar både den naturliga dynamiken och nyttjandet av skogen. Ett landskap med naturlig skogsdynamik skiljer sig från ett brukat landskap genom att det domineras av gammelskogar (Pennanen 2002, Pennanen och Kuuluvainen 2002). Dessa kan vara av flera slag, och har olika sannolikhet att förekomma på olika ståndorter (Angelstam m.fl. 1993, Angelstam 1998) (Figur 12), och kan beskrivas som:

- successionsskogar efter brand på friska marker; alla områden brinner inte och det är därför gott om gammal skog; även störda områden har stor strukturell mångfald
- flerskiktade tallskogar med lågintensiva bränder på torr mark; eftersom tallen delvis överlever och finns det gott om gamla träd kvar; även gott om död ved av olika slag
- skogar med luckdynamik på fuktiga och våta marker; eftersom skogen där brinner sällan och bara enskilda träd och trädgrupper ramlar omkull; gott om död ved

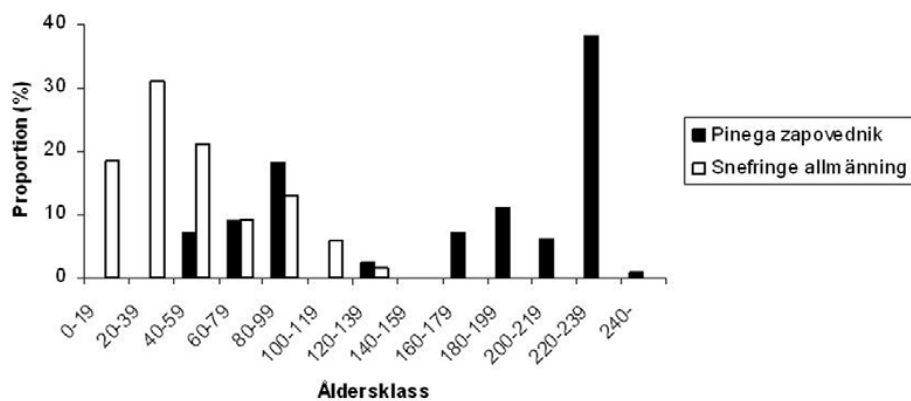


Figur 12 Teckning som illustrerar sex utvecklingsstadier efter skogsbrand eller stormfällning på friska marker. En tidigare löv- och senare barrfas är typisk. De flesta utvecklingsstadier kan återvända till första steget efter störning, vilket resulterar i en mängd möjliga utvecklingsvägar (vänster). Flerskiktad tallskog på torr mark visas i det övre högra hörnet, och luckdynamik i en fuktig granskog visas i det nedre högra hörnet (teckning av Martin Holmer i Angelstam och Kuuluvainen 2004).

Nedanför fjällskogarna i Sverige finns inga skogslandskap som har bevarat en någorlunda naturlig skogsdynamik. Några sådana landskap finns dock kvar i strikt skyddade områden i f.d. Sovjetunionen (så kallade zapovedniker (Weiner 1999)). Dessa avsattes för runt 100 år sedan med syfte att vara referenslandskap för nyttjande av naturresurser. Två av dessa är belägna i ryska Karelen, och är båda brandpräglade barrskogsdominerade landskap. I båda dessa landskap dominerar skogar över 100 års beståndsålder (Figur 13). En jämförelse av åldersfördelningen i en zapovednik i Arkhangelsk (Pinega) och Snefringe häradsallmänning visas i Figur 14.

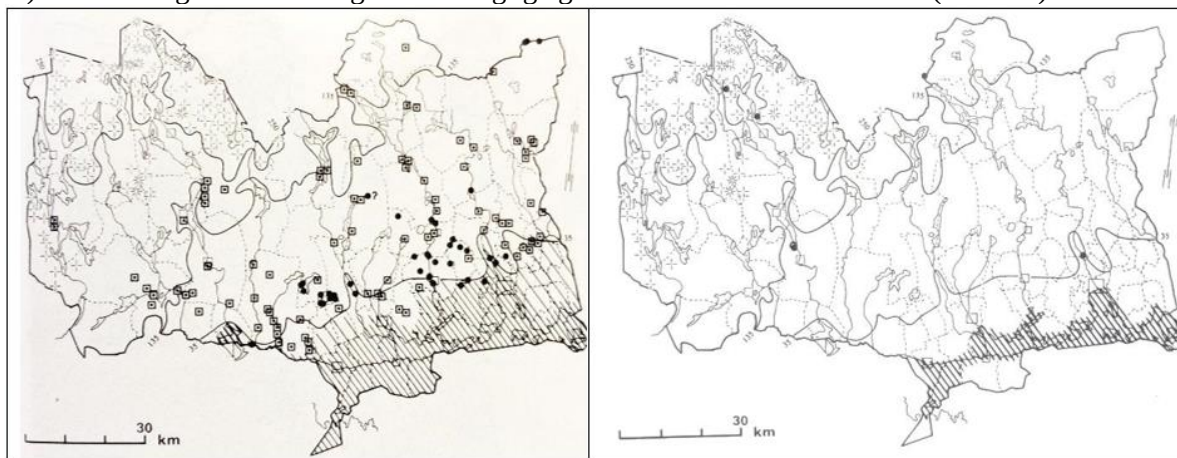


Figur 13 Fördelning av olika beståndsåldrar enligt beståndsregister för zapovednikerna Kivach och Kostamuksha i ryska Karelen.



Figur 14 Jämförelse av åldersfördelningen inom Snefringe häradsallmänning (6634 ha) i Västmanlands län, och i ett naturligt dynamiskt landskap (6710 ha) inom Pinega zapovednik (ryska term för strikt skyddat område) i Arkhangelsk län (Pinega zapovednik arkivdata).

Utöver dessa boreala skogstyper finns även ädellövskog i den sydligaste delen av studieområdet (Figur 15). Sammantaget så kan många olika skogliga gröna infrastrukturer definieras (Tabell 3)



Figur 15 Utbredningskartor för ek (till vänster) och alm (till höger) i landskapet Västmanland (Malmgren 1982:167, 168).

Tabell 3 Beskrivningar av de 14 skogsmiljöer som kvantifierades i miljövårdsberedningens bristanalys (Angelstam och Andersson 1997).

ID	Namn	Beskrivning
1	Boreal successionsskog	Successionen kan initieras av brand, vatten eller vind, alternativt mänsklig störning med efterföljande igenväxning. Avser egenskaper som är tillfälliga och som finns i olika landskapsavsnitt vid olika tidpunkter. De mest typiska boreala exemplen är färska brandfält, unga lövsuccessioner som senare tillåts bli gamla, sena lövsuccessioner och gammelskog. Förutom vissa mycket gamla skogar har dessa olika successionsstadier kort eller medelmåttig varaktighet och är därmed från ekologisk synpunkt tillfälliga företeelser på en viss plats i landskapet. Överståndare från tidigare skogsgenerationer förekommer dock ofta.
2	Boreal sumpskog med intern dynamik	Bestånd med intern dynamik har hög genomsnittlig beståndsålder och stor ålders-spridning. Översvämning förekommer och/eller långa perioder med mycket högt grundvatten. Avsaknad av lätt antändlig vegetation och vattenförsörjning från grundvatten med liten risk för uttorkning leder till mycket låg brandrisk. Trädsiktet domineras av skuggfördragande trädarter (gran), men kan även ha ansemliga mängder med lövträd. Sådana bestånd bildar ofta sammanhängande områden, nätverk eller korridorer i landskapets fuktigaste delar. Exempel på egenskaper i sådana bestånd är ett stabilt mikroklimat och en kontinuerlig tillförsel av död ved. Sällsynta intensiva bränder kan initiera succession.
3	Brandpräglad tallskog	Bestånd med flera åldersklasser av tall liksom nedbrytningsstadier av död ved. I naturtillståndet upprätthålls typen genom att torra marker brinner ofta, men med relativt låg intensitet.
4	Nemoral successionsskog	Den nemoral successionen startar efter upphörd hävd från rester av det äldre beståndet och sker på och i kamp med annan väleablerad vegetation (gräsmarker av olika slag). Igenväxningen löser gradvis upp grässvålen. Bestånden blir ofta olikåldriga. Efter ny stormfällning eller avverkning, svedjning och påföljande bete och/eller odling övergavs marken och fick växa igen fritt. Detta gav upphov en kontinuerlig tillgång på successionsstadier mellan öppen och halvöppen mark med skog. Förutom triviallöf, en viss andel tall och gran hör ekskogen till denna typ. Observera att ädellövskogen återfinns i bokskogen, ekskogen och i ask/almskogen
1	Boreal successionsskog	Successionen kan initieras av brand, vatten eller vind, alternativt mänsklig störning med efterföljande igenväxning. Avser egenskaper som är tillfälliga och som finns i olika landskapsavsnitt vid olika tidpunkter. De mest typiska boreala exemplen är färska brandfält, unga lövsuccessioner som senare tillåts bli gamla, sena lövsuccessioner och gammelskog. Förutom vissa mycket gamla skogar har dessa olika successionsstadier kort eller medelmåttig varaktighet och är därmed från ekologisk synpunkt tillfälliga företeelser på en viss plats i landskapet. Överståndare från tidigare skogsgenerationer förekommer dock ofta.
2	Boreal sumpskog med intern dynamik	Bestånd med intern dynamik har hög genomsnittlig beståndsålder och stor ålders-spridning. Översvämning förekommer och/eller långa perioder med mycket högt grundvatten. Avsaknad av lätt antändlig vegetation och vattenförsörjning från grundvatten med liten risk för uttorkning leder till mycket låg brandrisk. Trädsiktet domineras av skuggfördragande trädarter (gran), men kan även ha ansemliga mängder med lövträd. Sådana bestånd bildar ofta sammanhängande områden, nätverk eller korridorer i landskapets fuktigaste delar. Exempel på egenskaper i sådana bestånd är ett stabilt mikroklimat och en kontinuerlig tillförsel av död ved. Sällsynta intensiva bränder kan initiera succession.
3	Brandpräglad tallskog	Bestånd med flera åldersklasser av tall liksom nedbrytningsstadier av död ved. I naturtillståndet upprätthålls typen genom att torra marker brinner ofta, men med relativt låg intensitet.
4	Nemoral successionsskog	Den nemoral successionen startar efter upphörd hävd från rester av det äldre beståndet och sker på och i kamp med annan väleablerad vegetation (gräsmarker av olika slag).

		Igenväxningen löser gradvis upp grässvålen. Bestånden blir ofta olikåldriga. Efter ny stormfällning eller avverkning, svedjning och påföljande bete och/eller odling övergavs marken och fick växa igen fritt. Detta gav upphov en kontinuerlig tillgång på successionsstadier mellan öppen och halvöppen mark med skog. Förutom triviallöv, en viss andel tall och gran hör ekskogen till denna typ. Observera att ädellövskogen återfinns i bokskogen, ekskogen och i ask/almskogen
5	Nemoral sumpskog med intern dynamik	Bestånd med intern dynamik har hög genomsnittlig beståndsålder och stor ålders-spridning. Föryngring sker i gläntor efter fallna träd och trädgrupper. Vind och variationer i grundvattenförsörjning (t.ex. klibbalskog) kan ge upphov till mer storskalig störning som följs av succession. Trädsiktet domineras av skuggfördragande trädarter (ask/alm). Sådana bestånd bildar ofta sammanhängande områden, nätverk eller korridorer i landskapets fuktigaste delar. Exempel på egenskaper i sådana bestånd är ett stabilt mikroklimat och en kontinuerlig tillförsel av död ved. Observera att ädellövskogen återfinns i bokskogen, ekskogen och i ask/almskogen
6	Ekskog	Ekskog Eken är ett pionjärträd som genom betes- och kulturstörningar bildar flerskiktade bestånd med träd med mycket höga åldrar. De flesta ekskogar är därmed successions-skogar. Skogseken har en mycket vid ekologisk amplitud (dvs. lik tallen) och har inslag av branddynamik. Idag finns mest mycket sena successionsstadier med mycket lång varaktighet och extremt gamla träd i hagar. Endast i vissa branter och i alluvialzoner finns äldre bestånd med intern dynamik (i båda fallen orsakade av yttre störningar som ras och översvämning). Kan liksom torra tallsogar vara flerskiktade med flera åldersklasser i beståndet. Stor tillgång på död ved i form av multnande ved i stammens centrum och i form av grenar.
7	Bokskog	Rena bokskogar är interndynamiska med föryngring inom befintliga bestånd och därmed olikåldriga. Historiskt har en stor andel betats och bestånden varierade då i täthet och trädslagssammansättning. Organismsammansättningen i bokskog är förskjutet mot slutna bestånd med intern dynamik och kontinuerlig tillgång på död ved. Efter storskaliga störningar sker succession.
8	Ask-almskog och övrig blandädellövskog	Huvudsakligen interndynamiska skogar på bördig mark med föryngring inom befintliga bestånd och därmed olikåldriga och med kontinuerlig tillgång på död ved. Successionstyper förekommer efter vind, bete och uppodling.
9	Gråalskog	Primär succession på mark och substrat som nybildats vid landhöjning, deltan, skred i nipor och meandrande vattendra
10	Topografiskt betingad skog	Skogar av allehanda slag som genom sin otillgänglighet har relativt hög grad av trädkontinuitet. Vissa typer av störningar (skred, ras, forsdimma) finns i denna kategori
11	Kalkbarrskog	Huvudsakligen granskogar med antingen intern dynamik eller ett successionsförlopp motsvarande boreal succession, beroende på fuktighetsförhållanden. Kalkpräglad fält och bottenskikt
12	Sandbarrskog	Huvudsakligen tallsogar. I kustnära lägen kännetecknas dynamiken av nykolonisation av dyner, annars som brandpräglade tallsogar. Blottad sand utgör speciellt substrat
13	Trädbevuxen betesmark	Hagmarker och andra glest trädbevuxna marker på ägoslaget naturbete.
14	Busksnår	Efter lång tids hårt nyttjande av skogen återstående buskmarker (tex. ljunghedar). Även brynmiljöer.

Arbetsgång skog

Vår metod för att uppskatta sammansättningen av olika skogstyper och åldersklasser i ett naturligt dynamiskt landskap (ca. 1600), innan omfattande vattenreglering och avvattning initierades, och brand och andra naturliga störningar fortfarande dominerade över mänskligt brukande, bygger på modellering av ståndortsförhållanden med jordartskartor och digitala höjdm modeller. Olika ståndorter har olika förutsättningar för olika naturliga skogliga störningsregimer, t.ex. enligt den så kallade ASIO-modellen för relativa brandfrekvenser med tillhörande naturliga störningsregimer och trädslagssammansättningar (Angelstam et al. 1993, Angelstam 1998, Figur 12):

Genom att kombinera jordarter och markfuktighet skapade vi en karta över potentiell naturlig vegetation (Tabell 4), och som följer ASIO-modellens fyra klasser

- A (Aldrig) - interndynamiska skogar gran eller ädellövsog på blöta jordar
- S (Sällan) - i huvudsak interndynamiska skogar med gran / blandskog på fuktig mark
- I (Ibland) - successionskogar med tidig lövfas och sen barrfas på frisk mark
- O (ofta) - flerskiktade tallskogar med frekventa bränder med låg intensitet på torr mark

Jordartskartor: <https://apps.sgu.se/geolagret/> innehåller hela databaser och kan klippas ner till önskad storlek. Där finns också metadata för respektive databas. Data hämtas via GET (<https://maps.slu.se>) genom att markera ett område och ladda hem data. Dock finns det en storleksbegränsning på flera av databaserna av prestandaskäl så det kan vara så att vissa av jordartskartorna inte går att hämta för ett helt län på en gång, se <http://resource.sgu.se/dokument/publikation/>.

<http://gisela.humangeo.su.se:8800/doku.php?id=start> är en annan källa för data. En rikstäckande markfuktighetskarta finns (se www.slu.se/mfk, och data finns här: <https://kartor.skogsstyrelsen.se/kartor/?startapp=skogligagrunddata>)

Svartåns avrinningsområde är särskilt pedagogiskt eftersom det inkluderar den fullständiga gradienten från tempererad ädellövsog i söder, de våta ängarna runt Västerfärnebo (A:son-Palmqvist 1979), och Hälleskogens tallmarker och mossar där den stora (ca. 14 000 ha) skogsbranden i den västra delen rasade 2014 (Pinto et al. 2020).

Tabell 4 Regler för att använda jordart och markfuktighet för att definiera olika brandfrekvenser enligt ASIO-modellen (Angelstam et al. 1993, Angelstam 1998).

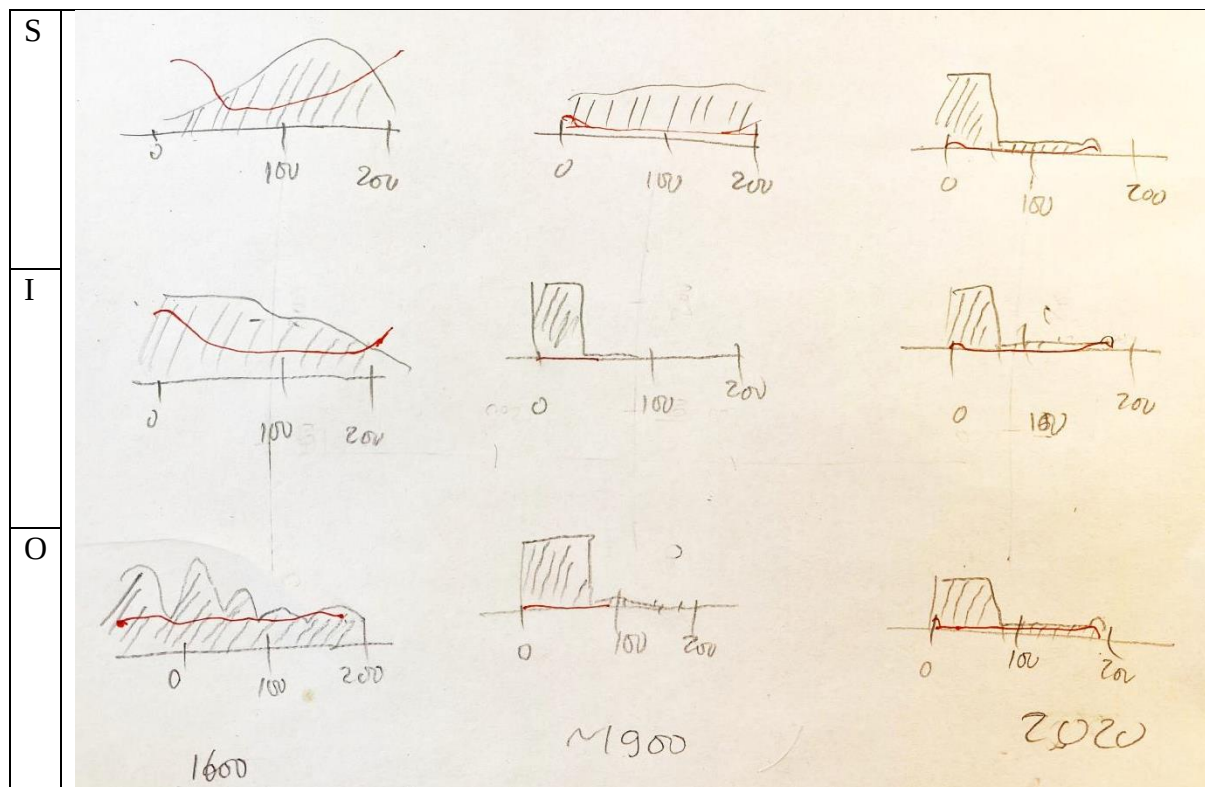
	Berg i dagen	Sand, grus, sten	Morän	Ler (glacial och postglacial)	Kärr	Mossar
Torr	O	O *				
Frisk			I **			
Fuktig			S-blandskog **	S-lövsog #		
Våt				A #	Kärr	Mossar

* markfuktighetsdata kan vara missvisande för denna jordart (Anneli Ågren, pers.comm.)

** separerade på grund av olika markfuktighet

separerade på grund av olika markfuktighet

Uppskattningar av åldersfördelningarna under olika tidsperioder, mängden död ved och kol i marken erhöles genom litteraturstudier om naturligt dynamiska landskap för ca. 1600 och ca. 1900, samt från aktuella data i skogsbruksplaner och officiell statistik för situationen ca. 2020. Data presenteras enligt modellen i Figur 16.



Figur 16 Diagram som illustrerar åldersfördelningen av skogar på ståndorter med olika sannolikheter för brand (Sällan, Ibland, Ofta (klassen Aldrig saknades)), under tre tidpunkter (ca 1600, dvs innan naturliga brandregimer undertrycktes (Pinto et al. 2020); när intensiv produktion av träkol till järnbruk fortfarande var viktig, och innan jordbruksproduktionen blev mer intensiv); och för närvarande. De rasterade ytorna är beståndsålder och de röda linjerna den relativa mängden död ved.

Jordbruksmarker och övriga lanttäcken

Huvudmetoden för ca. 1900 bygger på sockenvis statistik från jordbruksräkningen för 1927. Omföring av skog till jordbruksmark uppskattades genom att jämföra ståndsortskartan med Nationella MarktäckeData (NMD).

Resultat

Fördelning av ASIO-klasser på olika markförhållanden

Jordarterna i Svartåns avrinningsområde utgör en skarp gradient från de övre delarnas morän- och myrområden som sträcker sig ända till Norrbottens län, till Mälarbäckens lerslätter. Detta innebär stor variation i ståndortsförhållanden, landskaps historier, och fördelning av marktäckan med olika kolinnehåll och vattenhållande förmåga (Tabell 6, 7).

Tabell 6 Studieområdets (Svartåns avrinningsområde) fördelning på olika ASIO-klasser.

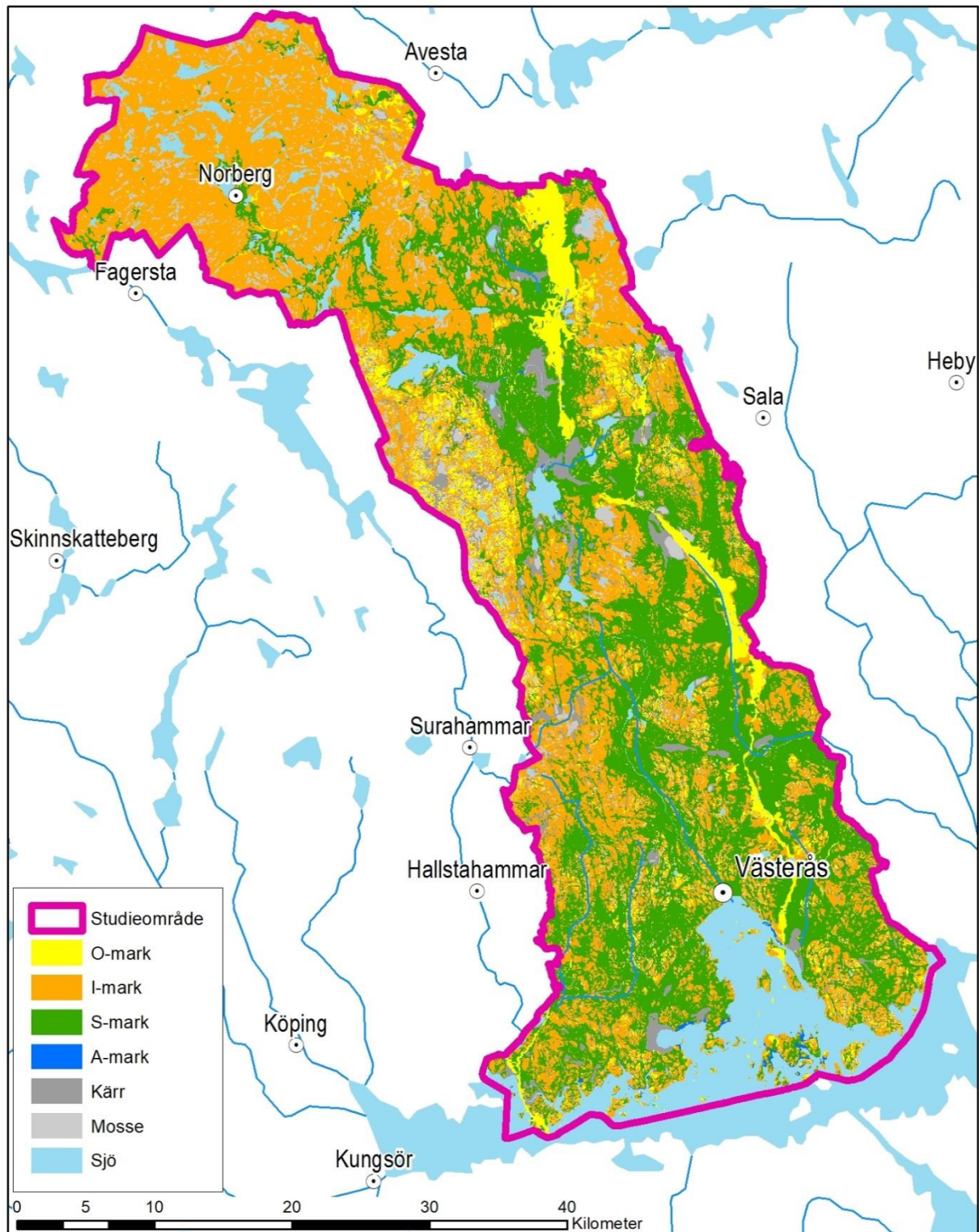
ASIO-klass	Polygoner (n)	Area (ha)	Proportion (%)
A (Aldrig)	173	414	0.2
S (Sällan)	3649	63 835	33.9
I (Ibland)	7986	77 941	41.4
O (Ofta)	2073	11 723	6.2
Mossar	2325	7265	3.9
Kärr	2071	7368	3.9
Sjöar	611	19 632	10.4
Summa	18 888	188 179	100

I tabell 7 presenteras proportionerna för de olika ASIO-klasserna som återspeglar den relativa förekomsten av brand, och därmed förutsättningar för sammanhängande områden med olika naturliga skogsstörningsregimer i Svartåns avrinningsområde och de ingående socknarna (1882 km²). Med hjälp av denna matris för markfuktighet och olika slags jordarter kan kopplingarna mellan platsen och skogsstörningsregimen förklaras. På Ofta-marker (övre vänstra hörnet) uppstod bränder ofta, vilket ledde till flerskiktade tallskogar med flera åldersklasser och stora mängder död ved i olika nedbrytningsstadier. På Ibland-marker inträffade eld ibland, skapade björk- och aspsuccessioner, som gradvis ersattes av den skuggtåliga granen. På Sällan-marker inträffade sällan brand, och var praktiskt taget frånvarande på Aldrig-platser. Detta innebär att på dessa två senare platser dominerade luckdynamik med en oftast permanent täckning av äldre skogar. Tempererade ädellövskogar uppstod längst söderut nära Mälaren.

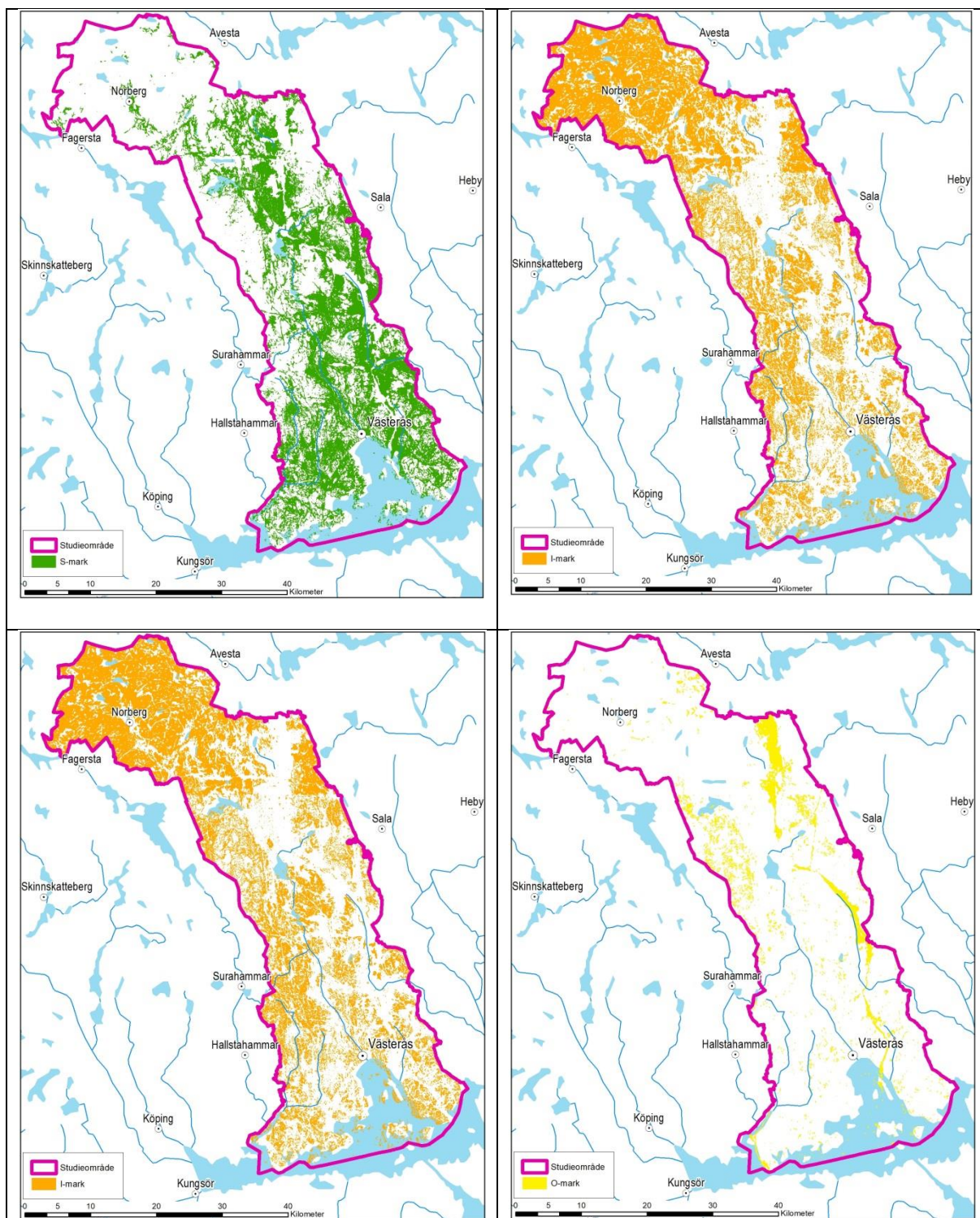
Tabell 7 Studieområdets fördelning av ASIO-klasser på olika kombinationer av jordarter och markfuktighetsklasser.

	Berg, grus, sand	Morän	Lera	Kärr	Mosse	Sjö mm.
Torr	(Ofta) 6,2%					
Frisk		(Ibland) 41,4 %				
Fuktig			(Sällan) 33,9 %			
Våt			(Aldrig) 0,2 %	3,9 %	3,9 %	10,4 %

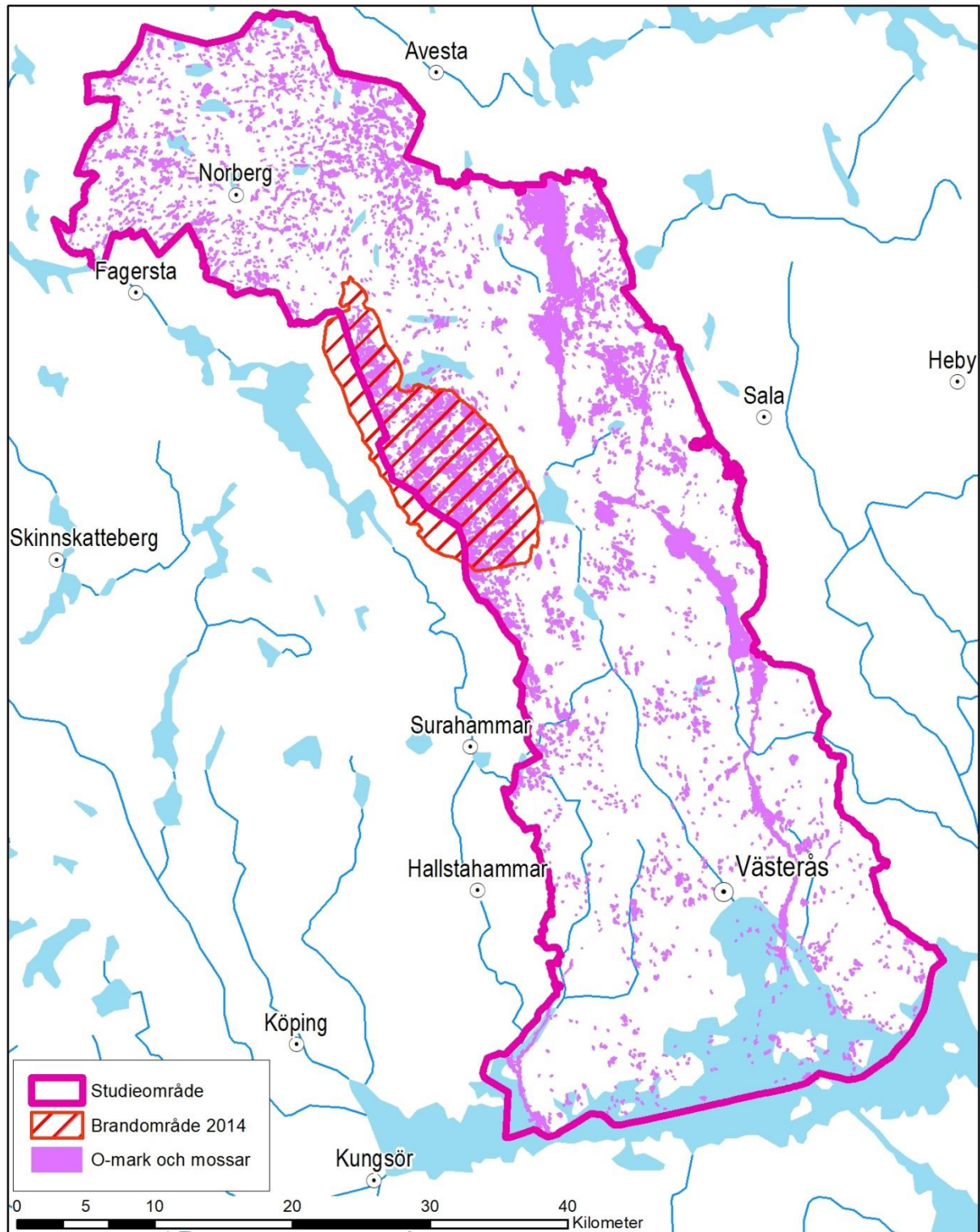
Kartorna (Figur 17, 18) visar hur kombinationen av jordart och markfuktighet ger olika möjligheter för naturliga skogsstörningar enligt den så kallade ASIO-modellen (Angelstam et al. 1993, Angelstam 1998, Angelstam och Kuuluvainen 2004, Berglund och Kuuluvainen 2021). I de uppströms belägna delarna av Svartåns avrinningsområde tvättade havet, som en gång nådde cirka 184 m.ö.h., bort fina partiklar från moränen och lämnade bara tunna jordlager på den prekambrianska berggrunden (I). De finaste jordartsfraktionerna bildar nu de lågt liggande områdena i Svartåns avrinningsområde och som domineras av lera (S och A). En stor glacial flod deponerade sand och grus från norr till söder (O) och bildade Badelundaåsen från Siljan till Mälaren. Långa torrperioder påverkar brandrisken, och vi antar att kombinationen av torra tallskogar och tillfälligt uttorkad torvmark i Hälleskogen borde påverka ett skogsbrandfältets omfattning. Kartan över denna kombination av ståndorter sammanfaller med utbredningen av 2014 års brand (Figur 19).



Figur 17 Karta som beskriver hur kombinationen av jordart och markfuktighet ger förutsättningar för olika skogliga störningsregimer enligt ASIO-modellen (Angelstam m.fl. 1993, Angelstam 1998). I Svartåsen övre delar har havet en gång under ca. 184 m.ö.h. tvättat bort fina jordpartiklar och forslat dessa till de lägst liggande delarna som nu domineras av fuktiga lerjordar. En stor isälv har lämnat en sträng av grus och sand i form av Badelundaåsen. I O-områdena förväntas bränder förekomma ofta, vilket gav förutsättningar för flerskiktade tallskogar med flera olika åldersklasser, och stora mängder död ved av olika slag. På I-områdena förekom bränder ibland, och skapade lövsuccessioner där granen tog över efterhand. I S-områdena förekom bränder sällan i naturlandskapet, och lövrika skogar med både trivial- och ädellöv bör ha dominerat.



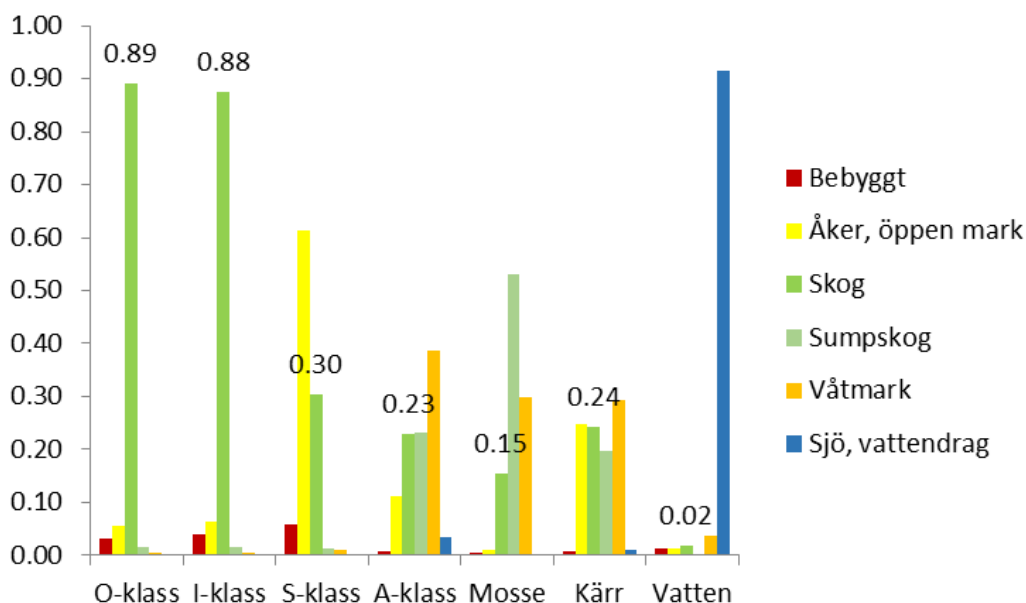
Figur 18. Förekomsten av olika ASIO-klasser där A-klassen utgjorde <1 %, samt mossar, kärr och sjöar.



Figur 19. O-klassen i ASIO-modellen kombinerad med mossar, vilka båda buffrats med 50 m för att illustrera sannolikheten att dessa två landtäcken kan utgöra funktionella rumsliga enheter för brandspridning under långa torrperioder med höga temperaturer. Brandfältet från 2014 är markerat.

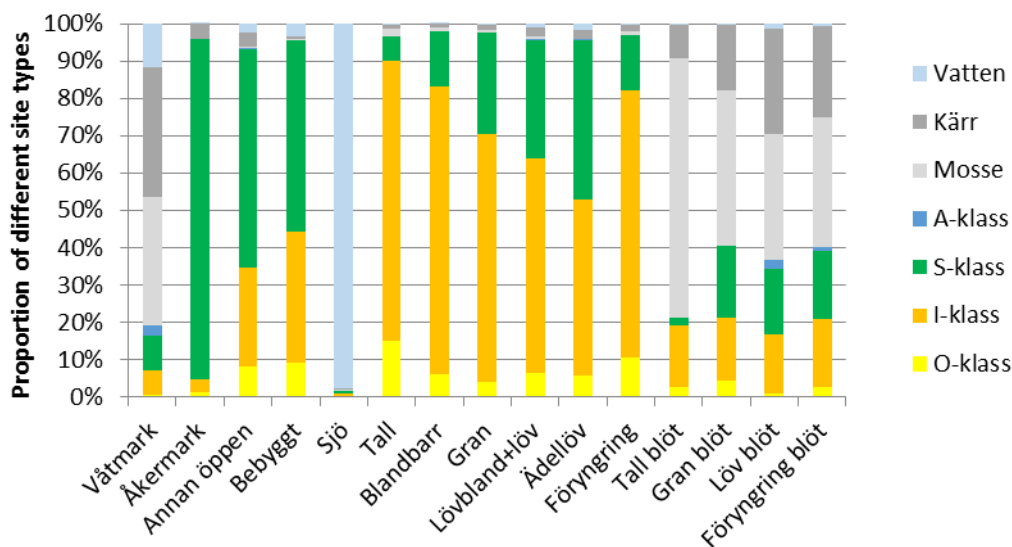
Fördelning av landtäcken på olika ståndorter

Den historiska omföringen av skog till andra ägoslag skiljer sig avsevärt mellan olika ståndorter (Figur 20). Medan på torra O-marker som dominerades av flerskiktade tallskogar och friska I-marker med olika successionstadier endast 11–12 % av skog har omförts till andra landtäcken, har på bördiga S-marker 70% omvandlats till annat än skog.



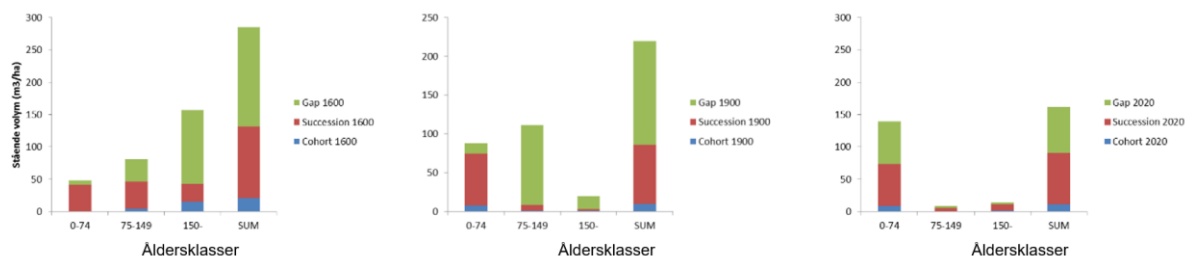
Figur 20. Fördelningen av olika landtäcken enligt NMD på olika ståndorter enligt jordart och markfuktighet uttryckt som ASIO-klasser, kärr, mossar och övrigt.

Dagens fördelning av olika landtäcken speglar de olika ASIO-klasserna väl. Beträffande trädarter, notera den goda överensstämmelsen i Figur 21 nedan för tall, gran, trivial lövträd och ädellövträdarter å ena sidan, och ASIO-klassens gradient å andra sidan



Figur 21. Fördelning av olika ståndorter på landtäcken i Svartåns avrinningsområde och de socknar som det omfattar.

I skogar lagras kol i levande träd, i döda träd, på marken och i jorden. På mineraljordar har den relativa förekomsten av olika störningsregimer förändrats avsevärt i fallstudieområdet från ca. 1600 till nutid, både på grund av förändrade proportioner av skogar, jordbruksmarker och gräsmarker, och på grund av olika skogsbruk som påverkar skogens utvecklingsstadier och åldersfördelningar. Som uppskattats i histogrammet nedan (Figur 22) påverkade detta den totala volymen av levande träd på olika typer av platser associerade med olika naturliga störningsregimer.



Figur 22. Stående volym levande träd för olika störningsregimer kopplade till olika ståndorter enligt ASIO-modellen, och kombinerat med uppskattningar av virkesförråd i olika åldersklasser, och skillnader i avskogning på olika ståndorter. Torra O- och friska I-mark utgör idag till 88–89% skog, medan på fuktiga S-marker täcker endast 30%. A-marker var mycket ovanliga (<1%) och med bara 23% skog.

Typen av naturlig skoglig störningsregim och skogsanvändningsprofil påverkar också mängden död ved. Medan i naturligt dynamiska skogar andelen stående och liggande död virke i olika nedbrytningsstadier vanligtvis uppgår till en tredjedel av den totala vedvolymen, har detta minskat till cirka 5% idag. När det gäller kol på och i marken, har markförna setts som den dominerande faktorn som påverkar nedbrytning av organiskt material i skogens ekosystem på kort sikt (årtionden); däremot så regleras ackumulering av organiskt material i morskiktet på lång sikt (århundraden) genom processer som involverar fina rötter och mycorrhizas mycelium i de djupare belägna och mer nedbrutna delarna (Clemmensen 2013, Kvaschenko et al. 2019).

Även andra marktäckan än skog lagrar kol, och dessa har förändrats har minskat över tid både i landskapsandelen och i den mängd kol som lagras per ytenhet (Erb et al. 2018). Jordbrukets intensivering inklusive markavvattning, förlust av småbiotoper och odlingsmetoder har minskat kollagren över tid. Gräsmarkanvändningen har förändrats från naturlig och delvis trädbevuxen till att huvudsakligen vara trädlös och hanterad för att ge hög avkastning.

Mängd kol förr, sedan och nu

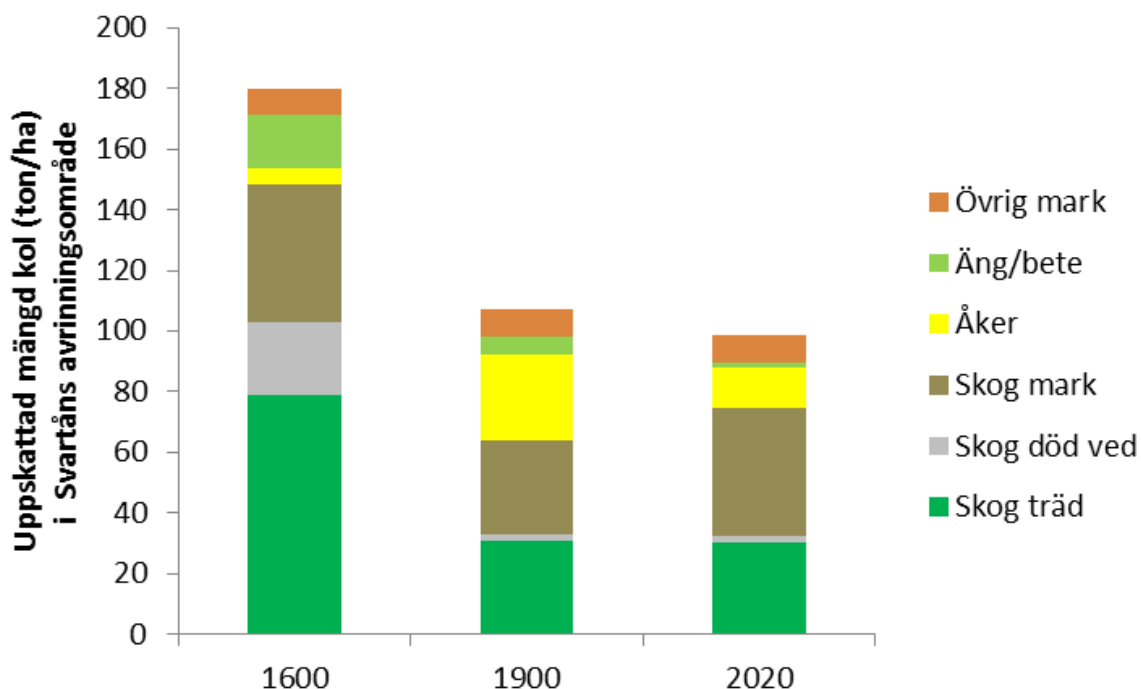
En kombination av bedömningar av och uppgifter om andelen av olika ägoslag vid de tre tidpunkterna ca. 1600, ca. 1900, och ca. 2020 (Tabell 2) och andelen av olika naturliga störningsregimer (Tabell 7) och mängderna levande och död ved i brukade landskap (Jonsson m.fl. 2016) och referenslandskap (t. ex. Müller och Büttler 2010, Shorohova och Kapitsa 2014), samt hur dessa på grund av uppodling (Figur 21) varierat över tid (Figur 23, och av bedömningar och uppgifter om mängden kol per ha (Tabell 8), antyder att knappt hälften (45%) av det kol som fanns i det ”naturliga” landskapet i studieområdet har försvunnit under de senaste fyra århundradena (Figur 23).

Detta överensstämmer med andra studier som pekar på minskning av mängden kol i marken på grund av avskogning (Guo och Gifford 2002, Sanderman m.fl. 2017). Ökad kolinlagring kan ske genom fånggrödor, ”agroforestry”, energiskog och kantzoner. Störst potential att lagra in kol har marker som är kolfattiga, och där man förändrar odlingen och börjar odla grödor som tillför mycket växtrester. Åkermark som länge odlats med ettåriga grödor och som sås med vall binder i regel kol, medan en mark som varit odlad med vall under lång tid förlorar kol om den plöjs upp. Genom väl avvägda växtföljder kan förlusten av organiskt kol i marken minskas (Land och Scharin 2021). Förlust äldre skogar och död ved kombinerat med minskad andel skogsmark, speciellt på bördiga marker där interdynamiska virkesrika skogar fanns, samt minskad andel mer eller mindre träd bärande gräsmarker, är de främsta bidragande faktorerna till den historiska minskningen i kollagret på landskapsnivå.

Mängden kol i marken är cirka tre gånger större än den totala kolmängden i hela atmosfären (Heinonsalo 2020). Små procentuella förändringar har därför stor betydelse.

Tabell 8. Mängden kol på landskapsnivå i Svartåns avrinningsområde och tillhörande socknar i Västmanlands län (1882 km²) beräknat utifrån (1) uppskattningar av volymen levande träd omräknat till mängden kol (1m³ sk motsvarar 0.75 ton torrvikt (Petersson et al. 2012, Bergh et al. 2020), varav ungefär hälften är kol (Lamlom och Savidge 2003, Bergh m.fl. 2020), (2) och av volymen döda träd på samma sätt kombinerat med avdrag för olika netbrytningsgrad, och (3) mängden kol i skogsmark (65 ton/ha enligt Stendahl m.fl. (2010) och Skogsdata (2017:16), och som antas vara relativt stabilt över tid (Bergh m.fl. 2020)), åkermark (t.ex. 60 ton kol/ha (Heinonsalo 2020:21)), gräsmarker (t. ex. 100 ton kol/ha (Ståhlberg 2010)) och övriga marker som domineras av myrar med 82 ton/ha (Skogsfakta 2017:16), samtliga korregerade för förändringar i ägoslag över tid (Tabell 2).

	1600	1900	2020
Skog levande träd (m ³ biomassa/ha)	210	83	81
(ton kol/ha)	79	31	30
Skog död ved (m ³ biomassa/ha)	69	5	8
(ton kol/ha)	24	2	2
Skog mark (ton kol/ha)	46	31	42
Åkermark (ton kol/ha)	5	28	13
Äng/bete (ton kol/ha)	18	6	2
Övrig mark (ton kol/ha)	8	9	9
Summa (ton kol/ha)	180	107	99



Figur 23. Uppskattad storlek på kollagret inom Svartåns avrinningsområde och tillhörande socknar i Västmanlands län (1882 km²).

Diskussion

Från omställning och anpassning i skogen...

Klimateffekten av skogsbruk kan beräknas som summan av kolinbindning i skogen och marken, fossila utsläpp i värdekedjan och reduktion av fossila utsläpp genom substitution som uppstår då skogens produkter ersätter fossilbaserade alternativ som cement, stål, plast och olje- och gasförbränning. Det pågår intensiva debatter på olika samhällsnivåer i både Sverige och EU om skogen, om klimatet och de båda tillsammans (Berndes et al. 2018, Björheden 2019, Holmgren 2019, Holmgren och Kolar 2019, Bruun 2021, Rummukainen 2021). Ska skogen användas för binda in och lagra kol ute i landskapet, eller för att binda maximalt med kol i biomassa som lagras i långlivade produkter och används som substitution av fossilt kol på olika sätt? Hur ser effekterna på biologisk mångfald ut av dessa olika alternativ? Vilken roll har andra ägoslag? Hur står sig situationen i Sverige i relation till det som sker utanför landet? Att det är bråttom att inte bara sträva mot ett avstannande av ökningen av växthusgaser, utan att halterna måste minska kraftigt, är också viktiga att beakta för avvägningar när och var man bör göra vad.

Vår retrospektiva fallstudie visar att det finns potential för ett landskap att lagra avsevärt mer kol än det gör idag. Men detta innebär avvägningar mellan många olika ekosystemtjänster. Vi betonar alltså behovet av systemanalyser som involverar både ekologiska och sociala system i lokala landskap, och såväl materiella som immateriella faktorer utanför det lokala landskapet. Med fokus på framskrivningar av kollagret i Jämtlands län som en fallstudie sammanfattande Skytt (2021) ”*Ett växthusgasreduktionsmål i kombination med målet att bli fossilbränslefri ökar sannolikheten att skogsskördarna ökar, vilket för Jämtland mest sannolikt resulterar i en negativ klimateffekt. Lägre skördevolym ger på kort sikt stora klimatvinster även om substitutionseffekter inräknas. Oavsett skördenivå bör skördade volymer styras mot produkter som ger hög substitutionseffekt där andra material ersätts.*”

I början av 2020 presenterade Europeiska kommissionen det så kallade ”Green Deal”, som säger att Europa borde uppnå målet om nollutsläpp till 2050. Skogar spelar en central roll i denna process, både som en betydande kolsänka och en skattkammare för biologisk mångfald å ena sidan, och som källa för rekreatiomsområde och en leverantör av resurser å andra sidan. Det är därför av stor vikt att förvalta skogslandskap så att deras olika funktioner bevaras på lång sikt. Welle m.fl. (2020) listade följande åtgärder för att öka de europeiska skogarnas förmåga att fånga in koldioxid:

- Öka den växande beståndsvolymen i skogar som brukas för virkesproduktion. På många ställen ligger dessa långt under den teoretiskt möjliga lagervolymen.
- Minimera skötselåtgärder och främja alla naturligt förekommande trädarter. Denna typ av skogsbruk kommer att öka den växande beståndsvolymen, och skapa resilienta blandade barr- och lövskogar.
- Minskning eller till och med övergivande av färskt virke vid produktion av träbränsle. Detta kommer att öka den växande lagervolymen och lagringen av kol i skogarna.
- En ändring av EU:s direktiv om förnybar energi vad gäller användningen av biomassa.
- Produktion av kortlivade produkter bör främst baseras på återvinning i så många etapper som möjligt, och från optimerad återvinning

Man kan även tro och fokusera på ökad tillväxt i skogen som avverkas och bidrar till reducering av fossila utsläpp genom substitution. Fokus på substitutionseffekter har en framträdande roll i skogsnäringsens färdplan för fossilfri konkurrenskraft. Holmgren (2019) beräknade substitutionseffekten för de tre produktgrupperna trävaror, massa/papper och energi och fann att den var betydande, med slutsatsen att ju mera bioenergi vi utnyttjar, desto mindre olja och kol kommer det att eldas. Skillnaden mellan ”svart kol” och ”grönt kol” är dock inte solklar. Omföringen av naturligt dynamiska skogar, som har ett betydligt större lager av ved i levande träd och död ved av olika slag, till brukade skogar och till annan markanvändning, har lett till att kol gått upp i atmosfären. Denna

fallstudie om Svartåns avrinningsområde uppskattar denna överföring som ungefär lika stor som det befintliga kollagret i skogen.

Andra systemavgränsningar i tid och rum ger andra svar. Ett rumsligt alternativ till nationen Sverige är EU:s medlemsstater. För att en åtgärd (t.ex. övergång från stål och betong till att bygga i trä) ska leda till substitution krävs att åtgärden leder till lägre utsläpp. Handeln med utsläppsätter innebär dock att det finns ett förutbestämt utsläppsutrymme för alla deltagande verksamheter kan utnyttja, det vill säga ett slags ransoneringskort. Hur stora utsläppen från betong- och stålframställning blir, påverkar därför inte de totala utsläppen, vilket betyder att så länge vi med trä ersätter betong och stål som framställts inom ramen för utsläppshandeln, så finns det ingen substitutionseffekt. De tre utbytbara huvudkomponenterna i EU:s klimatlagstiftning (reglering av emissioner genom Emission Trading Scheme (EU ETS) och Effort Sharing Regulation (ESR), samt reglering av kolsänkor (LULUCF)) tar hand om dessa frågeställningar. Storleken på utsläppen av klimatgaser regleras i lagstiftningen. Klimat och skog handlar om i vilken mån kolet vara ska kvar i skogen och lagras, eller om vi ska låsa in kolet i långlivade träkonstruktioner. För varje år sjunker nytugivningen av utsläppsätter (Nilsson 2020:15). Om de regler som beslöts i början av 2018 får fortsätta att gälla kommer den sista ”reguljära” utsläppsätter att ges ut 2057. Därefter är koldioxidutsläpp från de verksamheter som omfattas i princip förbjudna. Stänga kolkraftverk eller bygga i trä istället för stål och betong ändrar inte hur många utsläppsätter som finns tillgängliga, och därför inte heller hur stora de samlade utsläppen blir. Minskning kan däremot ske genom t.ex. mindre bilåkande, och återplantering och skogsodling på avskogad mark. EU:s skogsstrategi (European Commission 2021), som bygger på EU:s strategi för biologisk mångfald (European Commission 2020) och klimatlagstiftning ”Fit for 55” (se Nilsson 2021) är därmed föremål för en omfattande debatt.

...till landskapsansats som beaktar både ekologiska och sociala system

Där klimatet tillåter är skog den naturliga typen av vegetation i Sverige. En betydande del av naturskogen har dock under lång tid omvandlats till brukad skog och jordbruksmark, och infrastruktur har byggts. Detta innebär att inte bara det som är skog idag, utan hela landskapet och dess många olika ekosystemtjänster också måste beaktas när man diskuterar kol och klimat. Biologisk mångfald måste också beaktas. Samtidigt förändras människors värderingar, och nya behov och beteenden uppstår, vilka har betydelse för kolbalansen. Hur mycket biobränsle behövs när eldrivna fordon tar över? Vilken betydelse kommer vind och sol spela? Hur används och produceras cement, stål och plast i framtiden? Hur kommer klimatförändringar förändra biotiska och abiotiska störningar? Klimatet är dessutom kanske inte den viktigaste faktorn för människors välbefinnande och välfärd. Att bedöma välfärdsrisker och riskerna med förändrat klimat kräver analyser av skillnader mellan kortsiktiga och långsiktiga effekter på klimatet av olika åtgärder, och kompromisser mellan olika värden och tidshorisonter. Att förlita sig på techno-optimistiska visioner innebär att man inför risker att utsläppsreduktionsmålet inte kommer nås (Skytt 2021).

Denna komplexitet gör debatten om kol och klimat både rörig och motsägelsefull, och beroende på intressentgrupp dessutom allt annat än transparent. Starka intressen kan använda argument vars syfte egentligen är något annat än att vara klimatsmart. Klart är i alla fall att maximera lagring av kol ute i landskapet ger större effekt på kort sikt än substitution; men att inte använda biomassa är helt orealistiskt. På lång sikt kan substitution ge större effekt, men finns mycket stora osäkerheter om framtiden. Beror en växande bioekonomi av att fokusera på ökavolymer som produceras och konsumeras? Är ökade finansiella värden genom innovationer och en mångfald av värdekedjor som konsumerar mindre volymer av råvaror ett alternativ? Dessutom, för att mäta utveckling finns andra ”valutor”, som till exempel demografi och biodiversitet (dvs. ekosystemprocesser, habitat, och arter) (Raworth 2017).

Att hantera förändringar av klimat och skog inklusive annan markanvändning måste omfatta och integrera både ekologiska och sociala system, det vill säga det som geografer kallar landskap. Ett avrinningsområdesperspektiv är därför klokt. Svartåns avrinningsområde som omfattar 19 socknar i Västmanlands län illustrerar detta för ett knappt 2000 km² stort område.

En ”10000-kronorsfråga” är vilka olika styrmedel för en utveckling från ”Business-As-Usual” till att möta framtiden proaktivt med en mångfald av metoder för planering och brukande för klimatomställning och klimatanpassning i hela landskap (t.ex. Assmuth och Tahvonen 2018, Manton m.fl. 2021, Peura m.fl. 2018, Pukkala 2016, 2018, Sténs m.fl. 2019, Tahvonen 2019, Skytt 2021). Förändringar för omställning (dvs. energiomställning (Cozzi m.fl. 2021) och kollagring (mitigation på engelska)) och anpassning (adaptation på engelska) kräver att olika åtgärder kombineras, och varierar över tid efter angelägenhetsgrad. Detta kräver samverkan mellan olika intressenter och lärande som bygger på evidens och systemanalys (Angelstam m.fl. 2021). Begreppet landskapsansats har därför utvecklats som en metod (se översikter i Angelstam m.fl. 2010, 2019, Sayer m.fl. 2013). En tankemodell för detta angrepp presenteras i Tabell 9.

Tabell 9. Illustration av behovet av utveckling på väg mot systemanalys och landskapsansats för klimatomställning och klimatanpassning som omfattar hela landskap som kopplade ekologiska och sociala system.

	Aspekter av landskap	Nutid	På kort sikt (decennier)	På lång sikt (sekel)
Ekologiska system	Skog	En skogsbruksmetod, 50–70 års omloppstid, monokultur	Utveckla flera metoder för kollagring (tex. hyggesfritt), längre omloppstider, låta andelen löv öka	Flera metoder, ”triad” som zonering av funktioner, resilienta ekosystem
	Åkermark	Fokus på hög produktion av få grödor	Öka mängden permakulturer, fånggrödor	Fokus på att vidmakthålla och förbättra jordar
	Våtmark	Landskap med många diken har minskat den vattenhållande förmågan	Lägga igen diken, återvätning för att restaurera kollagring	Återskapa försvunna våtmarker som kan ta emot och lagra vatten
Sociala system	Ideologi	Ser landskap som förutsägbara odlingssystem	Transformering till fokus på hantering av osäkerheter och risker	Etik och moral med fokus på framtid, försiktighetsprincip, reducerad konsumtion
	Skala för planering och skötsel	Skogsbestånd, fält, enskilda markägare; fragmentering och polarisering av aktörer och intressenter	Förbättra samverkan och lärande med fokus på Grön infrastruktur (GI) och ekologiska funktioner	Bruka för många olika naturnyttor (ekosystemtjänster) i hela landskap
	Samhälls-styrning	En dominerande sektor för skog respektive åkermark, stuprör mellan sektorer	En mångfald av värdekedjor baserade på materiella och immateriella värden; riskanalyser	Integrerad förvaltning av landskap och regioner, avvägningar mellan naturnyttor

Tack

Stort tack till Robert Axelsson, Håkan Berglund, Göran Berndes, Bev Law, Brendan Mackey, Bill Moomaw och Magnus Nilsson för kommenterar och inspiration.

Referenser

- Almquist, A., Löfving, R., Dehlén, R. 1980. Garpenbergs bruks skogar – utnyttjande och skötsel genom tiderna. Sveriges lantbruksuniversitet. Allmänna skrifter nr 3.
- Andersson Palm, L. 2000. Folkmängden i Sveriges kommuner och socknar 1571-1997. Nykopia Tryck AB, Stockholm.
- Angelstam, P. 1998. Maintaining and restoring biodiversity by developing natural disturbance regimes in European boreal forest. *Journal of Vegetation Science* 9(4):593-602.
- Angelstam, P., Andersson, L. 1997. I vilken omfattning behöver arealen skyddad skog i Sverige utökas för att biologisk mångfald skall bevaras? SOU 1997:98, Bilaga 4, 75+ 71 sid.
- Angelstam, P., Andersson, K., Axelsson, R., Elbakidze, M., Högberg, H., Nordberg, M., Törnblom, J. 2010. Skogsbruk och skoglig utbildning: förr, nu och i framtiden. Skogshistoriska sällskapets årsbok, sid 54-75.
- Angelstam, P., Andersson, K., Isacson, M., Gavrilov, D.V., Axelsson, R., Bäckström, M., Degerman, E., Elbakidze, M., Kazakova-Apkarimova, E.Yu, Sartz, L., Sädbom, S., Törnblom, J. 2013. Learning about the history of landscape use for the future: consequences for ecological and social systems in Swedish Bergslagen. *AMBIO* 42(2): 150–163.
- Angelstam, P., Asplund, B., Bastian, O., Engelman, O., Fedoriak, M., Grunewald, K., Ibisch, P., Lindvall, P., Manton, M., Nilsson, M., Nilsson, S.B, Roberntz, P., Shkaruba, A., Skoog, A., Soloviy, I., Svoboda, M., Teplyakov, V., Tivell, A., Westholm, E., Zhuk, A., Öster, L. 2021. Tradition as asset or burden for transitions from forests as cropping systems to multifunctional forest landscapes: Sweden as a case study. *Forest Ecology and Management*, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119895>
- Angelstam, P., Jonsson, B. G., Törnblom, J., Andersson, K., Axelsson, R., Roberge, J. M. 2010. Landskapsansats för bevarande av skoglig biologisk mångfald: en uppföljning av 1997 års regionala bristanalys, och om behovet av samverkan mellan aktörer. Skogsstyrelsen.
- Angelstam, P., Kuuluvainen, T. 2004. Boreal forest disturbance regimes, successional dynamics and landscape structures – a European perspective. *Ecological Bulletins* 51:117-136.
- Angelstam, P., Rosenberg, P., Rülcker, C. 1993. Aldrig, sällan, ibland, ofta. *Skog och Forskning* 93(1):34-41
- Angelstam, P., Munoz-Rojas, J., Pinto-Correia, T. 2019. Landscape concepts and approaches foster learning about ecosystem services. *Landscape Ecology* 34(7): 1445–1460.
- A:son-Palmqvist, L. 1979. Bruket av våtängarna vid Nötmyran, Västerfärnebo socken. Nordiska Museet och Länsstyrelsen i Västmanlands län.
- Assmuth, A., Tahvonen, O. 2018. Optimal carbon storage in even- and uneven-aged forestry. *Forest Policy and Economics* 87:93-100;
- Berglund, H., Kuuluvainen, T. 2021. Representative boreal forest habitats in northern Europe, and a revised model for ecosystem management and biodiversity conservation. *Ambio* 50(5):1003-1017.
- Bergh, J., Egnell, G., Lundmark, Y. 2020. Skogsskötselserien – Skogens kolbalans och klimatet. Skogsstyrelsens förlag, www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien
- Berndes, G., Goldmann, M., Johnsson, F., Lindroth, A., Wijkman, A., Abt, B., Bergh, J., Cowie, A., Kalliokoski, T., Kurz, W., Luyssaert, S., Nabuurs, G.-J. 2018. Forests and the climate. Manage for maximum wood production or leave the forest as carbon sink? *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 157(6):1-43.

- Björheden, R. 2019. Det svenska skogsbrukets klimatpåverkan. Upptag och utsläpp av växthusgasen koldioxid. SkogForsk, Uppsala. 24 p.
- Bruun, O. 2021. Skogen, klimatet och den biologiska mångfalden. Naturskyddsföreningen, Stockholm. 44 s. https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/skogen_och_klimatet.pdf
- Brynte, B. 2002. C.L. Obbarius. En nydanare i Bergslagens skogar vid 1800-talets mitt. Totab AB, Hållsta.
- Clemmensen, K. 2013. Roots and Associated Fungi Drive Long-Term Carbon Sequestration in Boreal Forest. *Science* 339 (6127):1615-1618
- Cozzi, L., Gül, T. 2021. Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector. Special Report, International Energy Agency, Paris. https://iea.blob.core.windows.net/assets/beceb956-0dcf-4d73-89fe-1310e3046d68/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf
- Ek, I. 1995. Skinnskattebergs revir. Hultebo tryckeri AB, Skinnskatteberg.
- Erb, K. H., Kastner, T., Plutzer, C., Bais, A. L. S., Carvalhais, N., Fetzel, T., ... & Luyssaert, S. 2018. Unexpectedly Large Impact of Forest Management and Grazing on Global Vegetation Biomass. *Nature* 553(7686):73–76.
- European Commission. 2020. EU Biodiversity Strategy for 2030. Bringing nature back into our lives. Communication 380. European Commission, Brussels.
- European Commission. 2021. New EU Forest Strategy for 2030. Communication 572. European Commission, Brussels.
- Gadd, C.-J. 2011. The agricultural revolution in Sweden, 1700-1870. I: Myrdal, J., Morell, M. Gadd, C.-J. 2000. Den agrara revolutionen 1700-1870. Natur och Kultur/LTs Förlag, Centraltryckeriet AB, Borås.
- Grau, O. 1754 (1904). Beskrifning öfver Wästmanland med sina städer, häradar och socknar. J.L. Horn boktryckeri, Wästerås (Wästmanlands Allehandas Bokt.-Aktieb.)
- Guo, L.B., Gifford, R.M. 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology* 8(4):345–360.
- Heinonsalo, J. (ed.). 2020. Kolguide - översikt över kolet i marken och grunderna i kolbindande jordbruk. Digi Oy Digipaino, Helsingfors
- Holmgren, P. 2019. Så stort är skogsnäringens bidrag i klimatarbetet. Skogsindustrierna. <https://www.skogsindustrierna.se/siteassets/dokument/rapporter/rapport-skogsnaringens-klimatbidrag.pdf>
- Holmgren, P., Kolar, K. 2019. Reporting the overall climate impact of a forestry corporation - the case of SCA. <https://mb.cision.com/Main/600/2752801/999695.pdf>
- Jonsson, B. G., Ekström, M., Esseen, P. A., Grafström, A., Ståhl, G., Westerlund, B. 2016. Dead wood availability in managed Swedish forests—Policy outcomes and implications for biodiversity. *Forest Ecology and Management* 376: 174-182.
- Kyaschenko J, Ovaskainen O, Ekblad A, Hagenbo A, Karlton E, Clemmensen KE, Lindahl BD. 2018. Soil fertility in boreal forest relates to root-driven nitrogen retention and carbon sequestration in the mor layer. *New Phytologist* doi: 10.1111/nph.15454
- Lamblom, S.H., Savidge, R.A. 2003. A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. *Biomass and Bioenergy* 25: 381–388.

- Land, M., Scharin, H. 2021. Växtföljers påverkan på inlagring av organiskt kol i jordbruksmark. En systematisk översikt och samhällsekonomisk analys. Forskningsrådet för miljö, areella näringar och samhällsbyggande, Formas, Stockholm
- Lundmark, H. 2020. Clear-cutting - The most discussed logging method in Swedish forest history. PhD thesis. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 64
- Malmgren, U. 1982. Västmanlands flora. Borgströms, Motala.
- Manton, M., Makrickas, E., Banaszuk, P., Kołos, A., Kamocki, A., Grygoruk, M., Stachowicz, M., Jarašius, L., Zableckis, N., Sendzikaite, J., Peters, J., Nepreenko, M., Wichtmann, W., Angelstam, P. 2021. Assessment and spatial planning for peatland conservation and restoration: Europe's trans-border Neman River basin as a case study. *Land* 10(2):174.
- Mattson, R. 1985. Jordbrukets utveckling i Sverige. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 344. Sveriges lantbruksuniversitet, Konsulentavdelningen, Uppsala. 46 s.
- Müller, J., Büttler, R. 2010. A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. *European Journal of Forest Research* 129(6):981–992.
- Nilsson, M. 2020. EU:s utsläppshandel. 2020. Landsorganisationen i Sverige. Bantorget Grafiska AB, Stockholm (<https://www.nilssonproduktion.se/wp-content/uploads/ETS-rapport-LO-slutversion.pdf>)
- Nilsson, M. 2021. Nu är det på allvar. Din snabbguide till "Fit for 55" – kommissionens förslag till ny klimatlagstiftning för Europeiska unionen. <https://www.nilssonproduktion.se/wp-content/uploads/2021/09/210928-Snabbguide-till-Fit-for-55-slutb.pdf>
- Pennanen, J. 2002. Forest age distribution under mixed-severity fire regimes-a simulation-based analysis for middle boreal Fennoscandia. *Silva Fennica* 36(1):213-231.
- Pennanen, J., Kuuluvainen, T. 2002. A spatial simulation approach to natural forest landscape dynamics in boreal Fennoscandia. *Forest Ecology and Management* 164(1-3):157-175.
- Petersson, H., Holm, S., Ståhl, G., Alger, D., Fridman, J., Lehtonen, A., Lundström, A., Mäkipää, R. 2012. Individual tree biomass equations or biomass expansion factors for assessment of carbon stock changes in living biomass – A comparative study. *Forest Ecology and Management* 270: 78–84.
- Peura, M., Burgas, D., Eyvindson, K., Repo, A., Mönkkönen, M. 2018. Continuous cover forestry is a cost-efficient tool to increase multifunctionality of boreal production forests in Fennoscandia. *Biological Conservation* 217:104-112
- Pinto, G. A. S. J., Niklasson, M., Ryzhkova, N., Drobyshev, I. 2020. A 500-year history of forest fires in Sala area, central Sweden, shows the earliest known onset of fire suppression in Scandinavia. *Regional Environmental Change* 20(4):1-11.
- Pukkala, T. 2016. Which type of forest management provides most ecosystem services? *Forest Ecosystems* 3:9.
- Pukkala, T. 2018. Carbon Forestry Is Surprising. *Forest Ecosystems* 5(1):11
- Raworth, K. 2017. Doughnut economics: seven ways to think like a 21st-century economist. Chelsea Green Publishing.
- Rummukainen, M. 2021. Skogens klimatnyttor – en balansakt i prioritering. CEC Rapport Nr 6. Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds universitet.
- Sanderman, J., Hengl, T., Fiske, G. J. 2017. Soil carbon debt of 12,000 years of human land use. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(36):9575-9580.

Sayer, J., Sunderland, T., Ghazoul, J., Pfund, J. L., Sheil, D., Meijaard, E., ... & Buck, L. E. 2013. Ten principles for a landscape approach to reconciling agriculture, conservation, and other competing land uses. *Proceedings of the national academy of sciences*, 110(21), 8349-8356.

Shorohova, E., Kapitsa, E. 2014. Influence of the substrate and ecosystem attributes on the decomposition rates of coarse woody debris in European boreal forests. *Forest Ecology and Management* 315:173-184.

Skogsfakta. 2020. Sveriges officiella statistik, Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå.

Skogsdata. 2017. Tema: Skogsmarkens kolförråd, Stendahl, J. (red.) Sveriges officiella statistik, Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå.

Skytt, T. 2021. Fossil free or not – That is the question. Doctoral Thesis 356, Mid Sweden University, Sundsvall.

Skytt, T., Englund, G., Jonsson, B.G., 2021. Climate mitigation forestry—temporal trade-offs. *Environmental Research Letters*, 16(11), p.114037.

Skytt, T., Nielsen, S.N., Jonsson, B.G. 2020. Global warming potential and absolute global temperature change potential from carbon dioxide and methane fluxes as indicators of regional sustainability—A case study of Jämtland, Sweden. *Ecological Indicators*, 110, p.105831.

Statistiska Centralbyrån 1930. 1927 års jordbruksräkning

Stendahl, J., Johansson, M.-B., Eriksson, E., Nilsson, Å. Langvall, O. 2010. Soil organic carbon in Swedish spruce and pine forests – differences in stock levels and regional patterns. *Silva Fennica* 44(1):5–21.

Sténs, A., Roberge, J. M., Löfmarck, E., Lindahl, K. B., Felton, A., Widmark, C., ... & Laudon, H. 2019. From ecological knowledge to conservation policy: a case study on green tree retention and continuous-cover forestry in Sweden. *Biodiversity and Conservation* 28(13):3547-3574.

Ståhlberg, D. (red.) 2010. Inlagring av kol i betesmark. Rapport 25. Jordbruksverket.

Tahvonen, O., Ramo, J. Mönkkönen, M. 2019. Economics of mixed-species forestry with ecosystem services. *Canadian Journal of Forest Research* 49(10):1219-1232.

Weiner, D. R. 1999. A little corner of freedom: Russian nature protection from Stalin to Gorbachev. Univ of California Press.

Weinhagen, A. 1947. Norbergs bergslag samt Gunnilbo och Ramnäs till omkring 1820. Gleerupska Universitetsbokhandeln, Lund.

Wesström, I., Hargeby, A., Tonderski, K. 2017. Miljökonsekvenser av markavvattning och dikesrensning. En kunskapssammanställning. Rapport 6777, Naturvårdsverket, Stockholm

Welinder, S. 1974. Kulturlandskapet i Mälardalen 1-4. Department of Quaternary Geology, Reports 5-6. Lund.

Welle, T., Leinen, L., Bohr, Yvonne E.-M. B., Vorländer, A.K. 2020. Waldvision für die Europäische Union. Naturwald Akademie GmbH. <https://naturwald-akademie.org/forschung/projekte/waldvision-fuer-europa/>

Wieslander, G. 1936. Skogsbristen i Sverige under 1600- och 1700-talen. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 34: 593–633.

Wrangel, F. U. 1886. Anteckningar om Ryttens socken. Central-tryckeriet, Stockholm.

Ingår i Länsstyrelsens rapportserie
ISSN 0284 - 8813

Har du frågor eller önskar fler exemplar, kontakta
Länsstyrelsen i Västmanlands län, 721 86 Västerås

Tfn 010-224 90 00 | Fax 010-224 91 10 | E-post: vastmanland@lansstyrelsen.se
www.lansstyrelsen.se/vastmanland