

Torvtillväxt och kolackumulation hos unga torvmarker i Uppland

Kristian Schoning

november 2014

SGU-rapport 2014:35



SGU

Sveriges geologiska undersökning
Geological Survey of Sweden

Omslagsbild: Häsenmossen, ett exempel på en skogs-
klädd mosse där vitmossevegetationen till stor del för-
svunnit och ganska torra markförhållanden för att vara
en torvmark. Foto: Kristian Schoning, SGU.

Samtliga fotografier i rapporten är tagna av
Kristian Schoning.

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
fax: 018-17 92 10
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

INNEHÅLL

| | |
|---|-----------|
| Sammanfattning | 4 |
| Abstract | 5 |
| Inledning | 6 |
| Bildning av torvmarker | 6 |
| Torvmarkers utveckling | 6 |
| Kolackumulation i torvmarker | 7 |
| Material och metoder | 8 |
| Undersökningsområdet | 8 |
| Torvmarkerna i norra Uppland | 8 |
| Val av torvmarker och fältundersökningar | 8 |
| Åldersbestämning | 9 |
| Torvens egenskaper | 12 |
| Tillväxthastighet och kolackumulation | 13 |
| Resultat | 13 |
| Torvmarkernas utveckling | 13 |
| Torvens egenskaper | 14 |
| Torvtillväxt | 16 |
| Tillväxtens variation med torvmarkens ålder | 18 |
| Torvtillväxt under olika tidsperioder | 19 |
| Kolackumulation | 19 |
| Variationer i kolackumulationen över tid | 19 |
| Kolackumulationen och torvens egenskaper | 21 |
| Diskussion | 23 |
| Förändringar i torvtillväxt över tiden | 23 |
| Framtida torvtillväxt | 23 |
| Fördröjning för start av bildningen av torv | 24 |
| Kolackumulation | 25 |
| Torvtillväxt och kolackumulation idag | 25 |
| Generellt mönster i kolackumulationen hos områdets torvmarker | 26 |
| Slutsatser | 28 |
| Referenser | 29 |
| Bilaga 1. Undersökta torvmarker | 31 |
| Bilaga 2. Kol-14-dateringar | 32 |

SAMMANFATTNING

Norra Uppland är ett till stora delar lågt liggande flackt landskap som, genom landhöjningsprocessen, stigit ur havet under de senaste 4 000 åren. I denna undersökning har unga, upp till 3 000 år gamla, torvmarkers utveckling, tillväxt och förmåga till inbindning av kol undersökts i detta unga landområde.

De undersökta torvmarkerna uppvisar ingen generell väg för hur torvmarkernas vegetation utvecklas över tid annat än att vegetationen hos torvmarker av högre ålder i större utsträckning domineras av vitmossor. Flertalet av torvmarkerna är bildade genom primär torvbildning, dvs. utan föregående sjöstadium eller ej torvbildande vegetation. Det kan dock finnas en möjlig fördröjning för mer riklig torvbildning på omkring 300 år, från teoretiskt högsta ålder då torv kan bildats på platsen. Torvmarker dominerade av vitmossor har en vertikal, genomsnittlig tillväxthastighet på 1,05 mm per år medan motsvarande värde för torvmarker dominerade av andra vegetationstyper, främst starr och brunmossor, är 0,85 mm per år. Båda dessa värden är i samma storleksordning som för andra torvmarker i Sverige. För de torvmarker där vegetationen utgörs av kärlväxter, brunmossor eller bådadera, avtar tillväxthastigheten snabbt från det att torvmarken uppnått en ålder på ca 500 år. Den genomsnittliga kolackumuleringen LORCA (*Long term carbon accumulation*) hos de undersökta torvmarkerna är 36,6 g C/m² × år. Det är högre än genomsnittet för boreala torvmarker men likvärdigt med unga torvmarker i Finland. Det finns även ett tydligt samband mellan kolinbindningen och torvtillväxt och torvens bulkdensitet. Högre tillväxthastighet och högre bulkdensitet ger en högre kolinbindning, men bulkdensiteten har en överordnad betydelse över tillväxthastigheten. Detta samband har, tillsammans med resultatet av analyser av torvens egenskaper, använts för att beskriva hur kolackumuleringen varierar över tid med torvmarkernas utveckling. Inledningsvis är kolackumuleringen låg på grund av ofördelaktiga förhållanden för torvbildning och att den torv som bildas har låg densitet. Våtmarkerna når dock snabbt optimala förhållanden för torvackumulering och när de är mellan ca 700 och 1 500 år gamla har de sin högsta kolackumulering. Därefter avklingar kolinbindningen på grund av en minskad vertikal tillväxthastighet. Hos flertalet av de undersökta torvmarkerna är tillväxten och kolinbindningen idag mycket begränsad dels på grund av att de uppnått sin begränsande vertikala tillväxtnivå och dels på grund av nuvarande markanvändning med intensivt skogsbruk.

Denna rapport beskriver och diskuterar resultaten från ett Forsknings- och utvecklingsprojekt som under 2011 till 2013 bedrivits på SGU med Kristian Schoning som projektledare. Övriga medarbetare i projektet har varit Anna Hedenström, Henrik Mikko, Gustav Sohlenius och Hanna Wåhlén.

ABSTRACT

In this study we have investigated young peatlands of the flat landscape of Northern Uppland, Sweden. It emerged from the Baltic Sea only during the past two to three millennia. The peatlands have been investigated with focus on development, vertical growth and carbon sequestration.

The studied peatlands show no general way of vegetational development over time. However, the vegetation is to a higher degree dominated by sphagnum in peatlands of higher age. Most of the investigated peatlands are formed through primary peat initiation but with a possible delay for more abundant peat formation of about 300 years. The peatlands that are dominated by sphagnum has a vertical average growth rate of 1.05 mm per year, while the same value for peatlands dominated by other vegetation types, mainly sedges and brown mosses, have a growth rate of 0.85 mm per year. Both of these values are comparable to values from other peatlands in Sweden. The growth rate in peatlands, with a vegetation dominated by vascular plants and brown mosses, decreases rapidly from a peatland age of 500 years. The average carbon accumulation LORCA (Long term carbon accumulation) of the studied peatlands is $36.6 \text{ g C/m}^2 \times \text{year}$ which is higher than the average of boreal peatlands, but equivalent of young peatlands in Finland. There is also a relationship between carbon storage and peat growth and peat bulk density, where the bulk density is the major component over growth rate. This relationship, together with the results of analyzes of peat properties were used to describe how the carbon accumulation varies over time in peatland development. Initially the carbon accumulation is low because of unfavorable conditions for peatformation. The peat which is formed also has low density. The peatlands rapidly reaches optimal conditions however, and when they are ca 700 to 1500 years old, they have their highest carbon accumulation. Due to a reduced vertical growth the carbon accumulation declines thereafter. In most of the studied peatlands the present growth rate and carbon accumulation is very limited in part because they have reached their limitation in vertical growth and in part because of present day land use with intensive forestry.

This report describes and discusses the results of a research and development project during 2011–2013 carried out at SGU (Geological Survey of Sweden) with Kristian Schoning as project manager. Other contributors are Anna Hedenström, Henrik Mikko, Gustav Sohlenius and Hanna Wählén.

INLEDNING

Torvmarker utgör omkring 3 % av jordens landyta och utgör samtidigt 30 % av allt markbundet kol. Större delen av torvmarkerna finns inom norra halvklotets subarktiska och boreala områden där klimatet är optimalt för torvbildning och torvtillväxt. Norra halvklotets torvmarker utgör alltså en betydande faktor i den globala kolbalansen. Förändringar i egenskaper och processer hos dessa torvmarker påverkar utbyte av kol mellan atmosfär och geobiosfär. Sveriges topografiska och klimatologiska förhållanden gör att förutsättningarna för torvbildning är goda och som en konsekvens av detta utgörs omkring 15 % av Sveriges landareal (67 000 km²) av torvmarker. Sverige är påverkat av landhöjningen sedan den senaste istiden och områden nära havsnivån har torrlagts först under de senaste årtusendena. I dessa flacka, unga landområden finns det därför en stor andel torvmarker med låg ålder, som dessutom befinner sig i början av sin utveckling. Dessa unga torvmarkers dynamik, med torvtillväxt och kolinbindning, är intressant då större delen av tidigare studier är gjorda på äldre torvmarker och de flacka landhöjningsområdena ger möjlighet att studera kolinbindning och utveckling hos unga torvmarker av olika ålder. Riktigt unga torvmarker, i början av sin utveckling, har oftast en mycket låg tillväxt och kolinbindning. Denna följs av en period där kolinbindningen är över genomsnittet. Hur lång perioden med låg kolackumulation är, varierar mellan olika regioner och torvmarkstyper.

I den här undersökningen har utvecklingen och tillväxthastigheten hos unga torvmarker i ett landhöjningsområde i Norra Uppland undersökts. Syftet med undersökningen är att visa hur torvtillväxt och kolackumulation förändras över tid hos unga torvmarker i ett landhöjningsområde, samt hur dessa parametrar förhåller sig till torvmarker av högre ålder. Då tillväxt och kolackumulation hos torvmarker är av stor betydelse för den globala kolbalansen kan kunskap om torvmarkers dynamik och utveckling öka förståelsen för hur det fungerar idag och hur det kommer att fungera i framtiden.

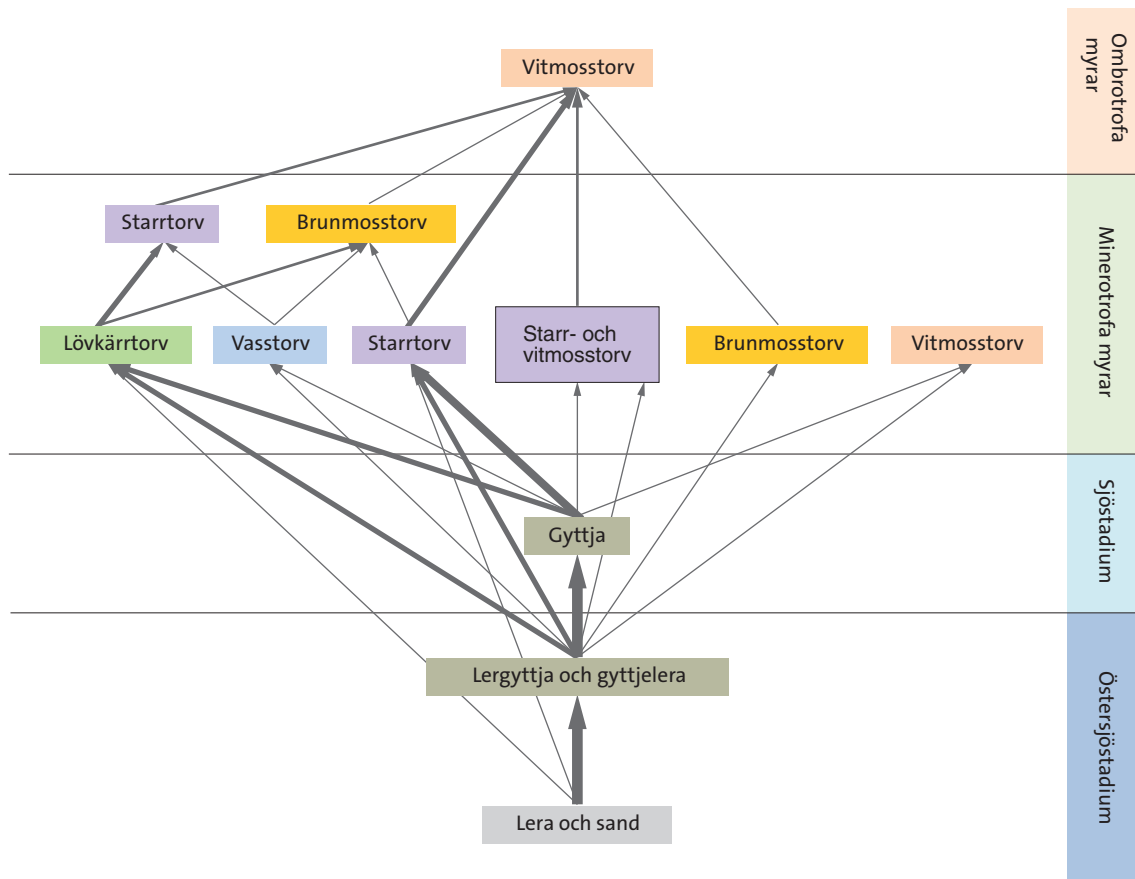
Bildning av torvmarker

En förutsättning för att torv ska börja ansamlas på en plats är att vegetationen förhindras från att brytas ned. Det kräver att anaeroba förhållanden råder på platsen genom tillräckligt blöta förhållanden. Det finns tre olika processer som kan ge upphov till torvmarker:

- **Primär torvmarksinitiering.** Vid primär torvbildning börjar torv bildas direkt på minerogent underlag innan vegetation etablerar sig och utan att föregås av något sjöstadium. I Sverige har detta skett kort efter att ett område blivit isfritt eller precis efter att ett område stigit ur havet genom landhöjning.
- **Försumpning.** Torvmarker som bildas genom försumpning (paludifiering) har, till skillnad från torvmarker bildade genom primär torvbildning, föregåtts av en period med vegetation som inte varit torvbildande. Torven i försumpningstorvmarker har därför börjat avsättas långt efter att ett område blivit isfritt eller stigit ur havet.
- **Igenväxning.** Vid igenväxning (terrestrialisering) bildas en torvmark genom att en sjö successivt växer igen.

Torvmarkers utveckling

Torvmarkernas succession och utveckling beror av omgivningens egenskaper som geologin och hydrologin. Klimatet har en avgörande betydelse för vegetation och vattenbalans, och vid klimatförändringar kan hydrologi och vegetation förändras så att en torvmark börjar utvecklas i en ny riktning. Förutsättningarna vid varje torvmark varierar och torvmarkerna i undersökningsområdet har börjat bildas vid olika tidpunkter. Därför kan man förvänta sig stor variation i sättet som torvmarkerna har börjat bildas på, och sedan kommit att utvecklas. Det går alltså



Figur 1. Generaliserad bild av successioner och hur torvmarker av olika ålder i Upplands kustområde har utvecklats (efter Sohlenius m.fl. 2014). Tjockleken på pilarna i figuren är proportionell mot betydelsen av denna utvecklingsväg.

inte att säga att torvmarker i ett visst område alltid följer ett visst utvecklingsmönster, även om vissa utvecklingsmönster inom en region kan vara vanligare än andra. Det klassiska synsättet på torvmarkernas utveckling är att de går från en blötare till en torrare miljö, och samtidigt från en mer näringsrik till en mindre näringsrik miljö. I figur 1 ges en generaliserad bild av hur utvecklingen av torvmarkerna i Uppland har skett (Sohlenius m.fl. 2014). Tjockleken på pilarna i figuren är proportionell mot betydelsen av utvecklingsvägen.

Kolackumulation i torvmarker

I grunden är kolackumulationen i torvmarker en funktion av produktionen av organiskt material samt hur stor andel av detta som bryts ner och mineraliseras. Avgörande här är hur stor del av produktionen som förs ned från torvmarkens acrotelm (aerob miljö) till dess catotelm (anaerob miljö). Produktion och nedbrytning är starkt knutna till vegetationens sammansättning och torvmarkens näringsstatus och hydrologi, samt till yttre faktorer som klimat och geologi. Det är även tydlig skillnad mellan minerotrofa torvmarker dominerade av kärlväxter och brunmossor, och ombrotrofa torvmarker dominerade av vitmossor och deras förhållande mellan produktion och nedbrytning. I mer näringsrika torvmarker är produktionen större, men samtidigt sker nedbrytningen av organiskt material snabbare. I näringsfattiga, ombrotrofa torvmarker med vitmossor, tenderar produktionen att vara lägre men även nedbrytningshastigheten är lägre. Sam-

mantaget har torvmarker dominerade av vitmossor en högre kolackumulation än torvmarker dominerade av kärleväxter och brunmossor (t.ex. Turunen 2003). I Yu m.fl. (2009) finns en sammanfattande figur över de externa och interna faktorer av betydelse för kolackumulationen i en torvmark. Kolackumulationen är även starkt bunden till torvens nedbrytningsgrad där torv med hög nedbrytningsgrad är associerad med hög kolackumulation (Mäkilä m.fl. 2003).

MATERIAL OCH METODER

Undersökningsområdet

De undersökta torvmarkerna ligger längs med kusten i nordöstra delen av Uppland (fig. 2). Den här delen av Uppland är lågt liggande och flack med små höjdskillnader och landskapet är ungt. De undersökta torvmarkerna ligger i landområden med en ålder på högst 3 000 år enligt SGUs landhöjningsmodell (Påsse & Andersson 2005, fig. 3). Jordtäcket utgörs i huvudsak av morän och finkorniga vattenavsatta sediment men andelen kalt berg är tämligen stort. Eftersom den senaste inlandsisen rört sig över området i huvudsak från norr mot söder präglas även jordarterna av berggrunden på Östersjöns botten norr om Uppland. Här finns Fanerozoiska sedimentära bergarter bland annat kalksten. Det har bland annat gjort att pH och kalkhalt i de glacialt avsatta jordarterna är ganska höga och återspeglas i områdets vegetation och förekomst av rikkärr och kalkhaltiga sjösediment.

Torvmarkerna i norra Uppland

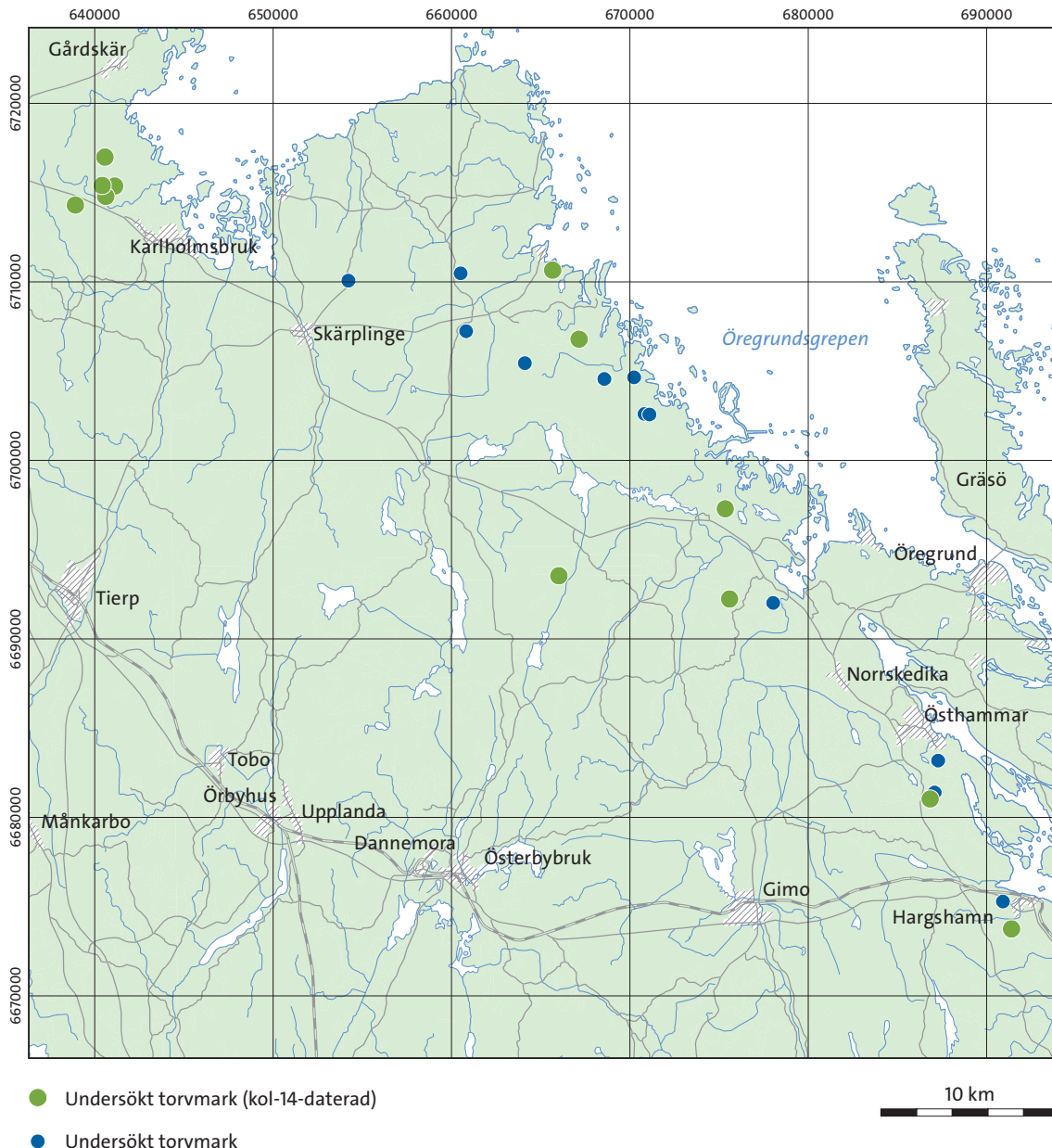
Torvmarkerna längst med Upplandskusten är oftast ganska små och torvdjupet överstiger sällan 2 m (Sohlenius m.fl. 2014) och den övervägande delen av torvmarkerna utgörs av olika typer av kärr. Ungefär hälften av torvmarkerna har bildats genom primär torvbildning och en lika stor andel genom igenväxning av sjöar. Endast omkring 10 % av torvmarkerna har bildats genom paludifiering (Sohlenius m.fl. 2014). Liknande områden med ett flackt landhöjningslandskap och liknande typ av torvmarker finns på andra sidan Östersjön i Finland och i Canada vid Hudson Bay (t.ex. Kuhry 1988, Korhola & Tolonen 1996). Även i dessa områden är primär torvbildning ett vanligt bildnings sätt för torvmarker.

Enligt von Post & Granlund (1926) hör norra delen av undersökningsområdet till Svealands högre fornsjöområden och den södra delen till Svealands lägre fornsjöområden. Skillnaden mellan de två områdena är att andelen mossetorvmark är avsevärt högre i Svealands högre fornsjöområden än i de lägre. De yngsta och de minerotrofa torvmarkerna i området har en vegetation dominerad av starr, ofta tillsammans med brunmossor (fig. 4). För de allra yngsta torvmarkerna är även inslaget av vass stort. De mossor som finns i området är ofta skogklädda över hela ytan, främst med tall. De är även relativt torra och har riklig risvegetation i form av skvattram blåbär, odon och lingon (Sohlenius m.fl. 2014, fig. 5). En stor del av torvmarkerna är dessutom kraftigt påverkade av dikning och aktivt skogs- och jordbruk (Schoning, pågående arbete). De allra yngsta torvmarkerna är dock påverkade av dikning i begränsad omfattning.

Val av torvmarker och fältundersökningar

Torvmarker för provtagning har valts ut från landområden yngre än 3 000 år enligt SGUs strandförskjutningsmodell (Påsse & Andersson 2005). Med hjälp av ortofoton och den LiDAR-baserade nationella höjdmodellen har torvmarker med låg grad av dikningspåverkan, och som ligger i en tydlig bassäng omgiven av högre liggande områden, valts ut för fältundersökningar.

Provtagning av torven är utförd med ryssborr 5 cm i diameter. Torvstratigrafi, tillsammans med typ av torvmark samt generell vegetationssammansättning har beskrivits i fält. I beskrivningen har även påverkan av dikning och skogs- och jordbruk noterats. Från borrhärnorna har prov för analys av densitet tagits ut i form av 10–30 cm långa bitar. Från de torvmarker som

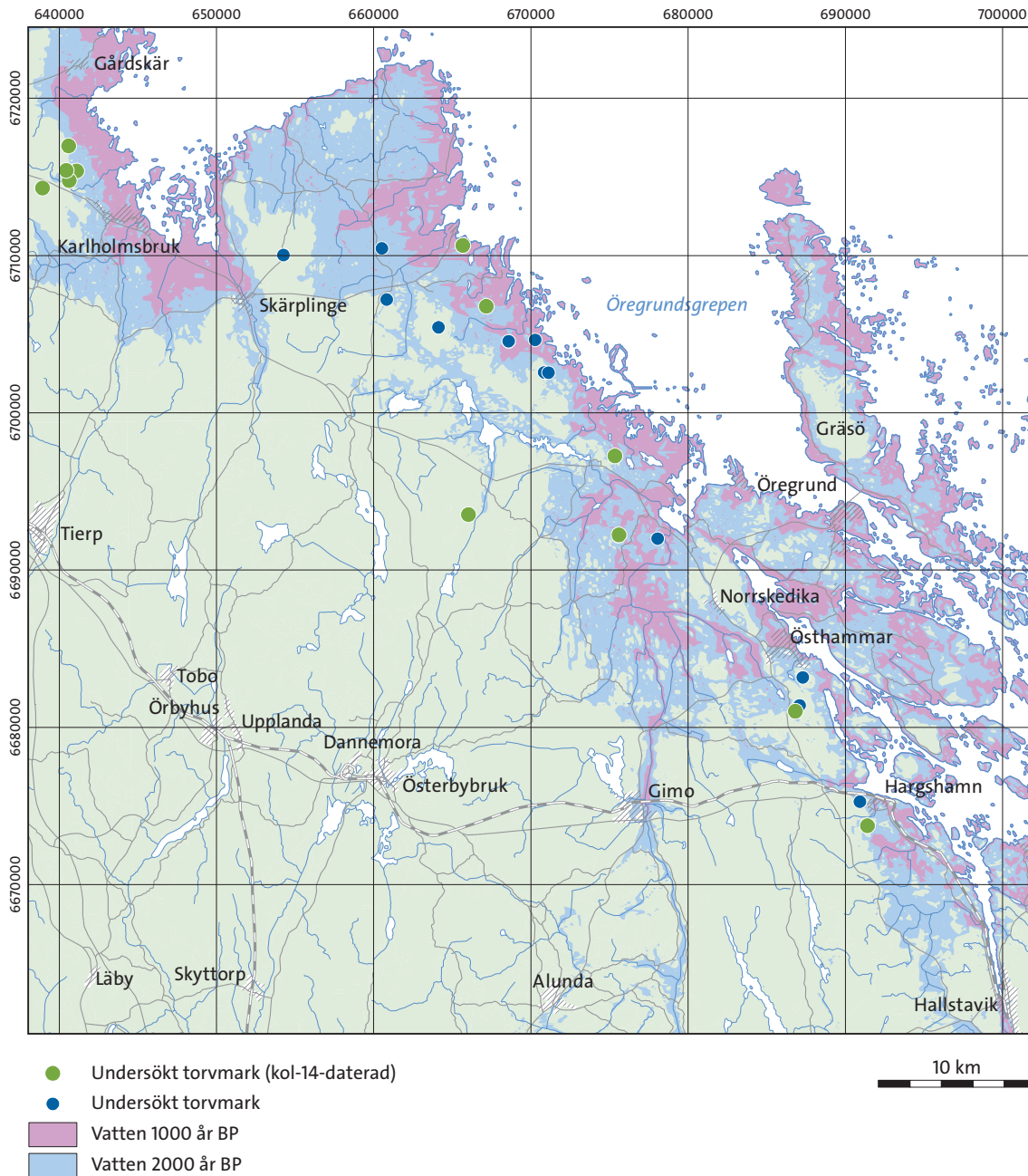


Figur 2. De undersökta torvmarkerna ligger inom de delar av norra Uppland, som under de senaste årtusendena torrlagts genom landhöjningen.

ansågs intressanta för kol-14-datering packades hela borrhävar in i PVC-rännor med plast för vidare undersökningar i laboriemiljö. På de flesta lokaler har torvens egenskaper och stratigrafi noterats vid ett antal punkter. I vissa fall, där torvmarkerna varit små eller svårtillgängliga (blöta), har endast en provpunkt undersökts.

Åldersbestämning

För 12 lokaler har tidpunkten för när torvbildningen börjat bestämts med kol-14-datering av den understa delen av torven. Dateringarna är gjorda på bulkprover, men vid provtagningen plockades först rötter och annat material bort, då de bedömdes komma från överliggande torv. Kali-



Figur 3. Paleogeografisk karta som visar vilka landområden som för 2 000 respektive 1 000 år sedan låg under Östersjöns yta.

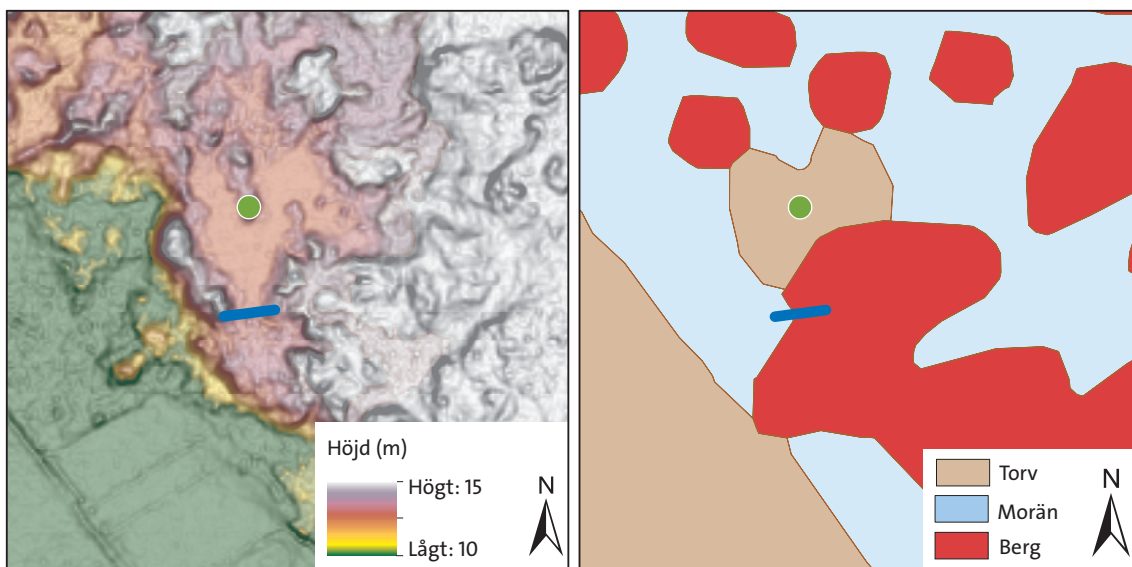
brering av kol-14-dateringarna till kalenderår är gjord med oxcal 4.2 (Bronk & Ramsey 2009). Åldern för övriga undersökta torvmarker bestämdes genom identifiering av tröskelhöjderna för våtmarkerna (fig. 6), vilka åldersbestämdes med SGUs landhöjningsmodell. Tröskeln definierar den tidpunkt då bassängen hamnade ovanför Östersjöns yta, dvs. vilken tidpunkt tröskelns höjd motsvarar i SGUs strandförskjutningsmodell (fig. 7). Tidpunkten för när själva torvbildningen började justerades därefter med den fördröjning av starten för torvbildning som konstaterats från de kol-14-daterade lokalerna.



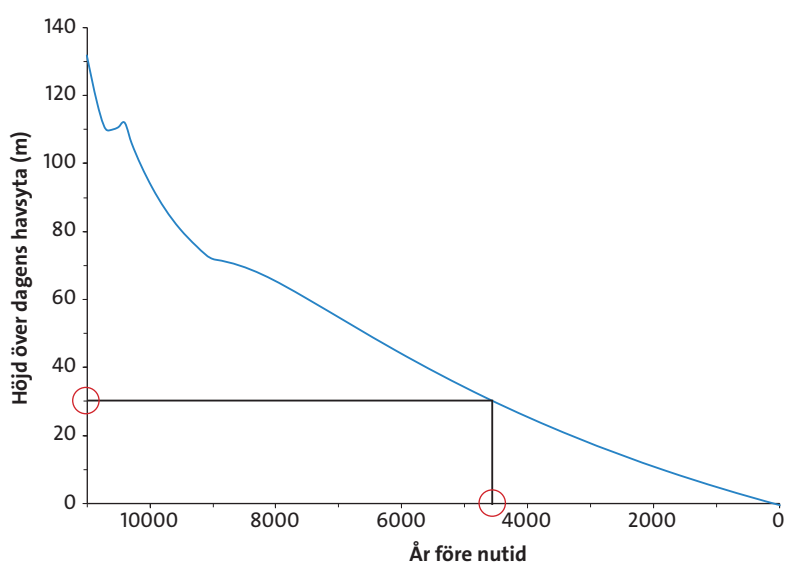
Figur 4. Södra Norrsved en torvmark med en vegetation dominerad starr och brunmossor.



Figur 5. Tallbäddad mosse med riklig risvegetation i form av blåbär och odon.



Figur 6. Exempel på hur en tröskel till en bassäng, där det idag finns en torvmark, har identifierats. Tröskeln utgör det lägst liggande området runt bassängen som i det här fallet ligger söder om torvmarken.



Figur 7. Exempel på hur en identifierad tröskelhöjd kan omvandlas till en tidpunkt, då torv teoretiskt sett kan ha börjat bildas i en våtmark, med hjälp av SGUs strandförskjutningsmodell. Kurvan visar vid vilken höjd över dagens havsnivå som strandlinjen legat tillbaka till när området blev isfritt.

Torvens egenskaper

Torvslag bestämdes okulärt i fält utifrån dominerande växtslag samt inblandning av andra växtslag. För vissa torvslag där det inte varit möjligt att identifiera ingående växtslag, som lövkärretorv, har istället den bildningsmiljö som gett upphov till torven angivits. Förutom torvslag bestämdes torvens humifieringsgrad med von Posts 10-gradiga humifieringsskala (von Post & Granlund 1926) och torvens relativa blöthetsgrad bestämdes enligt den femgradiga skala som användes vid SGUs linjeinventering (von Post & Granlund 1926). Torvens densitet och vattenhalt i procent bestämdes genom vägning före och efter torkning i ugn vid 60 °C under tre dygn. För ett antal torvslag med varierande humifieringsgrad bestämdes även askhalten genom glödningsförlust.

Tillväxthastighet och kolackumulation

Tillväxthastigheten för torven har beräknats enligt formeln:

$$\text{Torvtillväxt} = \frac{\text{torvmäktighet}}{\text{antal år sedan torvbildningen startade}}$$

Resultaten från kol-14-dateringar användes för att avgöra när torvbildningen startade, medan torvmäktigheten registrerades vid fältundersökningarna. För de torvmarker där inte kol-14-datering använts har istället åldern för isolering från Östersjön använts som den högsta tänkbara åldern då torv börjat bildas på platsen.

Detta ger den genomsnittliga tillväxten sedan torven började bildas och säger ingenting om variationer i tillväxten över tid eller hur torvtillväxten ser ut idag. För vissa av lokalerna där torvstratigrafin varit mer varierad har tillväxthastigheten även beräknats för varje enskilt torvslag genom att övergången från ett torvslag till ett annat kol-14-daterats.

Kolackumulationen ($\text{g C/m}^2 \times \text{år}$) i denna undersökning är baserad på dateringar av när torven började bildas och den ackumulation som erhållits är därmed den genomsnittliga kolackumulationen över tid, LORCA (*Long term apparent rate of carbon accumulation*). Eftersom några av torvmarkerna är mycket unga börjar den kolackumulation som beräknats att närma sig definitionen för RERCA (*The recent rate of carbon accumulation*). Det vill säga den genomsnittliga kolackumulationen för de senaste hundratals åren. Kolackumulationen har beräknats enligt formeln:

$$\text{Kolackumulation} = \frac{\text{Bulkdensitet}_{\text{torv}} \times (1 - \text{askhalt}) \times \text{kolhalt} \times \text{torvmäktigheten}}{\text{antal år sedan torvbildningen startade}}$$

Eftersom inga mätningar av kolhalt har gjorts i den här undersökningen har standardvärden för kolhalten hos olika torvslag (t.ex. Rydin & Jeglum 2006) använts. Detta, tillsammans med visst felintervall hos kol-14-dateringarna, gör att en högsta tänkbara och en lägsta tänkbara kolackumulation har beräknats. I rapporten redovisas medelvärden för dessa med felstaplar som visar spannet mellan lägsta och högsta värde.

RESULTAT

Torvmarkernas utveckling

Utifrån de undersökta torvmarkerna går det inte att uttyda ett specifikt successionsmönster. Det finns däremot en tendens till att de yngsta torvmarkerna är betydligt blötare än de äldre samt att tallskogen är tämligen tät och välväxt på vitmossedominerade torvmarker av högre ålder. De undersökta våtmarkerna har en relativt låg ålder och befinner sig i början av sin utveckling. De har därför inte alltid genomgått några större förändringar vad gäller vegetationens sammansättning sedan torv börjat avsättas. En skillnad mellan torvmarkerna är att på några platser har vitmossetorv börjat avsättas redan en kort tid efter att landområdet hamnat ovanför Östersjöns yta, men de flesta torvmarkerna där vitmosstorv avsatts har föregåtts av en period med mer näringskrävande vegetation.

I huvudsak följer torvmarkerna i studien ett liknande utvecklingsmönster som redovisats i en studie av torvmarker från Upplandskusten (Sohlenius m.fl. 2014, fig. 1). Skillnaden är att torvmarkerna i den här undersökningen i större utsträckning har, eller har haft ett stadium med vegetation dominerad av, eller med en stor andel av brunmossor. Förklaringen till detta är att de här undersökta torvmarkerna, alla ligger inom ett område där jordarterna är påverkade av den kalkhaltiga berggrunden i Gävlebukten, samt har en hög näringsstatus vilket gynnar förekomsten av brunmossor.



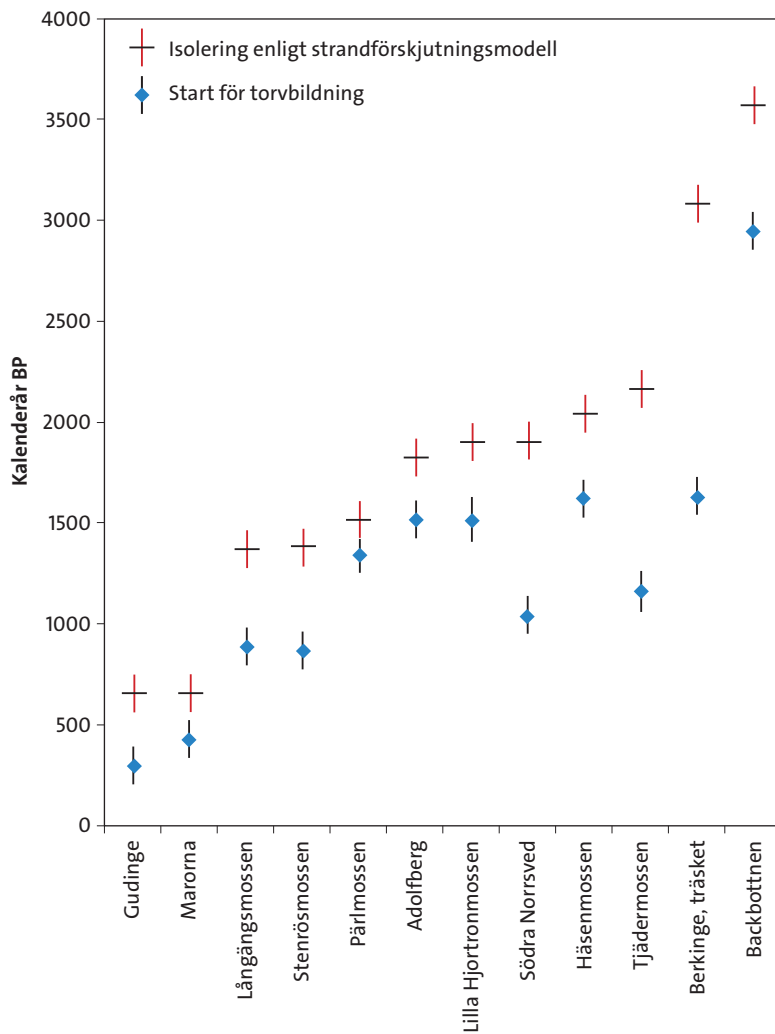
Figur 8. Exempel på primär torvbildning där torv börjat avsättas direkt på gyttjelera utan något föregående sjöstadium (Pärlossen). Den först avsatta torven domineras av starr och brunmossor.

Alla undersökta torvmarker underlagras av finkorniga sediment, i huvudsak lergyttja avsatt i grunda havsvikar, innan området höjdes ovanför Östersjöns yta (fig. 8). I några fall föregås torvbildningen av en avsättning av gyttja från ett sjöstadium. De flesta torvmarkerna har alltså bildats genom primär torvbildning eller enbart efter ett mycket kort sjöstadium i samband med att området stigit ur havet. Torvbildningen i de torvmarker där den initiala torvbildningen kol-14-daterats skedde omkring 300 år efter det att bassängerna höjts ovanför Östersjöns yta, undantaget är några lokaler som föregåtts av ett längre sjöstadium (fig. 9).

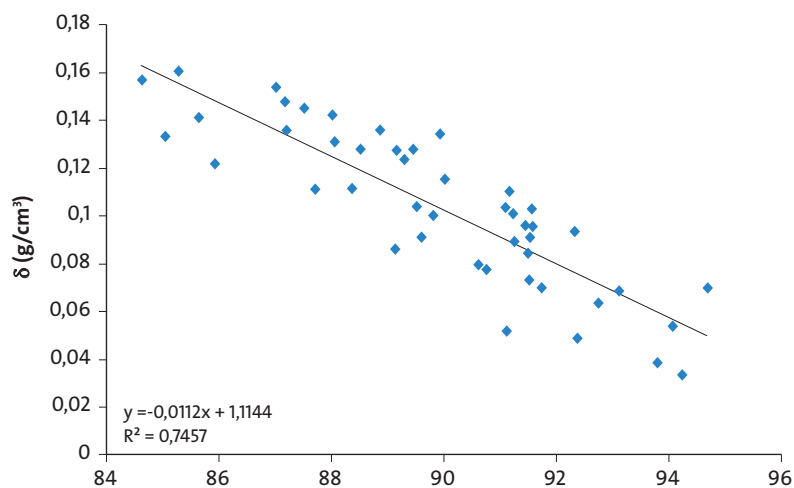
Torvens egenskaper

De densitetsprover som tagits från de undersökta platserna visar att torvens bulkdensitet (torr) är starkt bunden till torvens ursprungliga vattenhalt (fig. 10) och humifiering (nedbrytningsgrad, fig. 11 & 12). Med ökande vattenhalt minskar bulkdensiteten (torr). För de analyserade proverna minskar bulkdensiteten från 0,16 g per cm^3 vid en vattenhalt på 85 % ner till 0,05 g per cm^3 vid en vattenhalt på 95 %.

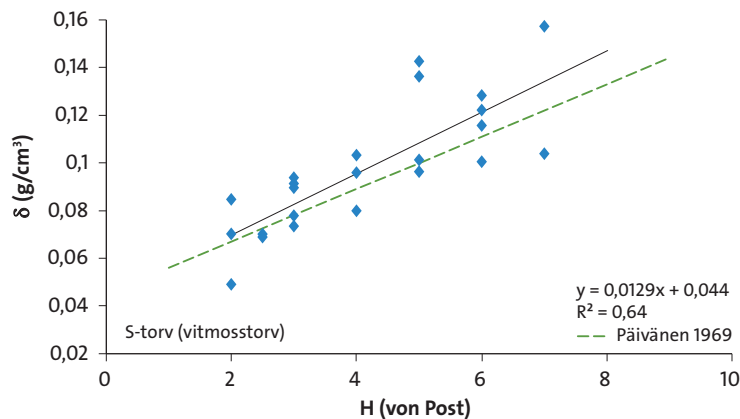
För humifieringsgraden är sambandet det omvända och här ökar bulkdensitetentorr med ökande humifieringsgrad (fig. 11 & 12). Här skiljer sig även sambandet åt mellan torv dominerad av vitmossor (S-torv, fig. 11) och torvslag dominerade av starr (C-torv, fig. 12). Förhållandet mellan humifiering och densitet följer i huvudsak samma mönster som konstaterats i andra större undersökningar t.ex. Päivänen (1969).



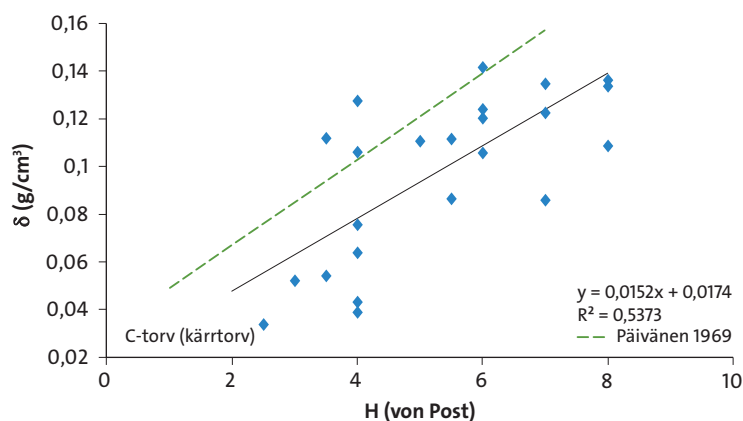
Figur 9. Datering av när torvbildningen började i de kol-14-daterade lokalerna. I figuren visas även när bassängen där torvmarken bildats isolerats från Östersjön och blivit ett landområde enligt SGUs strandförskjutningsmodell (Påsse & Andersson 2005).



Figur 10. Bulkdensiteten_{torr} hos torven i denna undersökning och hur den beror av vattenhalten i %.



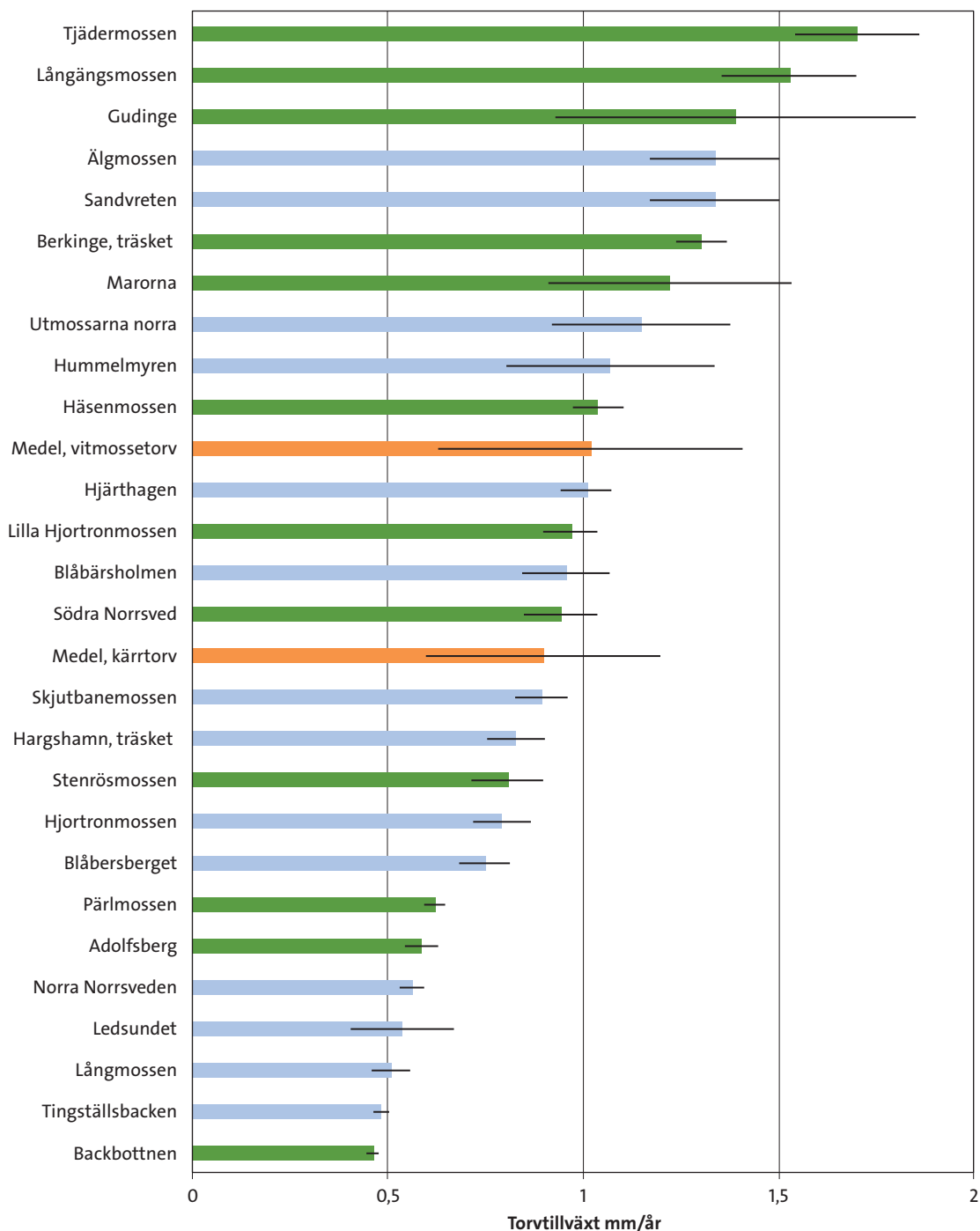
Figur 11. Förhållandet mellan humifieringsgrad (von Post) hos vitmosstorv (S-torv) och dess bulkdensitet (torr). Som jämförelse visas även samma förhållande enligt Päivänen (1969) som är baserad på undersökningar i Finland.



Figur 12. Förhållandet mellan humifieringsgrad (von Post) och densitet hos kärrtorv i denna undersökning. Som jämförelse visas även samma förhållande enligt Päivänen (1969) som är baserad på undersökningar i Finland.

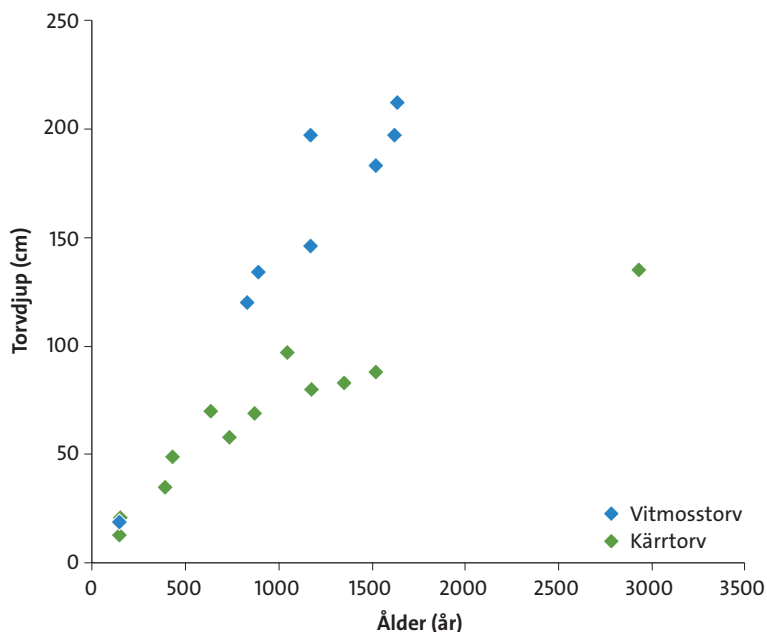
Torvtillväxt

Den genomsnittliga vertikala torvtillväxten hos de 26 undersökta torvmarkerna varierar mellan 0,4 mm per år och 1,65 mm per år och redovisas i figur 13. Den högsta tillväxten återfinns i torvmarker där vitmosstorv är dominerande t.ex. Tjädermossen och Långängsmossen. Torvtillväxten är även snabb i de allra yngsta torvmarkerna, Gudinge och Marorna, vilka båda är yngre än 500 år. Den genomsnittliga torvtillväxten för torvmarker dominerade av vitmosstorv är 1,05 mm per år och för torvmarker dominerade av kärrtorv 0,85 mm per år. Dessa medelvärden är likvärdiga med värden från andra studier av svenska torvmarker (t.ex. Klarqvist m.fl. 2001, Franzen 2002, Rundgren 2008) men något högre än vad äldre torvmarker i Sverige uppvisat. Tillväxthastigheten är högre än genomsnittet för finska torvmarker representerande hela Finland (Mäkilä 2006) men i stort likvärdig med den för de yngre torvmarker i sydvästra Finland (Mäkilä 2006).



Figur 13. Genomsnittlig torvtillväxt i de torvmarker som undersökts. Lokaler i grönt har ålderbestämts med kol-14 och lokaler i ljusblått har daterats med hjälp av tidpunkt för isolering från Östersjön utifrån SGUs strandförskjutningsmodell. De två orange staplarna visar medelvärden för torv som domineras av vitmossor och för kärrtorv som i huvudsak består av starr och brunmosstorv.

Den högre genomsnittliga tillväxten för vitmosstorv återspeglas även i figur 14 som visar åldern för alla de torvdjup som kol-14-daterats. I figuren syns tydligt att torvmarker med en övervägande del vitmosstorv har en väsentligt snabbare tillväxt än andra torvmarker. Under de första 500 åren är dock tillväxten hos torvmarkerna med kärrvegetation likvärdig med den för torvmarker dominerade av vitmossor.



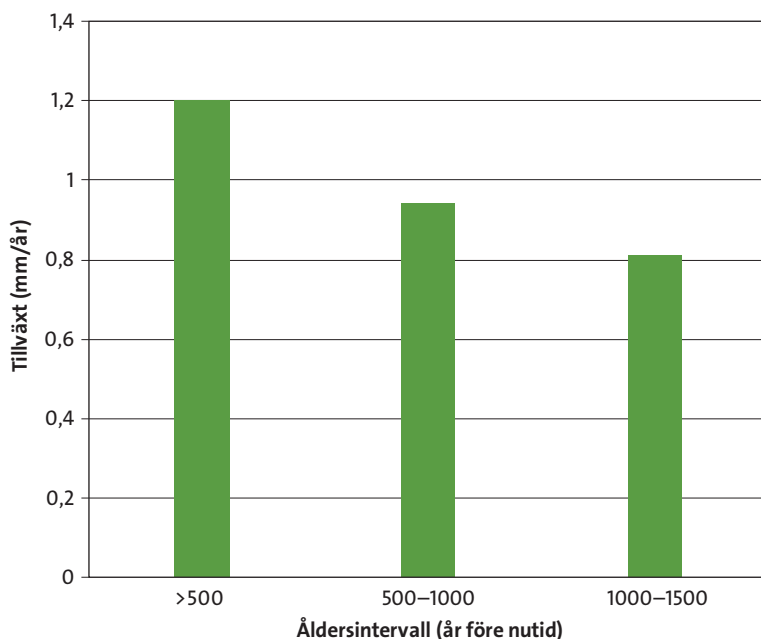
Figur 14. Torvtillväxten illustrerad med hjälp av de i de torvmarker som kol-14-daterats. De gröna punkterna representerar dateringarna av torv som i huvudsak består av starr och brunmossor. De blå punkterna representerar dateringarna som gjorts på torv som i huvudsak består av vitmossor. Inledningsvis är torvtillväxten likvärdig för de olika typerna av torvmarker men efter ca 500 år avklarar tillväxthastigheten hos torvmarkerna med en mer typisk kärrvegetation.

Tabell 1. Torvtillväxten i mm per år för 500-årsintervall i torvmarkernas utveckling för de torvmarker där mer än ett torvdjup daterats.

| | Torvmarkens ålder (år från när torvbildningen började) | | | | | |
|----------------------|--|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0–500 | 500–1000 | 1000–1500 | 1500–2000 | 2000–2500 | 2500–3000 |
| Södra Norrsved | 0,7 | 1,1 | | | | |
| Långängsmossen | 1,9 | 1,3 | 1,4 | | | |
| Stenrösmossen | 0,63 | 1,4 | | | | |
| Pärlmossen | 0,17 | 0,68 | | | | |
| Adolfsberg | 0,5 | 0,5 | | | | |
| Lilla Hjortronmossen | 1,05 | 1,25 | 1,25 | | | |
| Backbotten | 0,84 | 0,55 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,75 |

Tillväxtens variation med torvmarkens ålder

För de torvmarker där dateringarna gjorts på flera djup har det till viss del varit möjligt att bedöma hur torvtillväxten varierat under torvmarkens utveckling (tabell 1). Det finns inget enhetligt mönster i hur tillväxten varierat under torvmarkernas åldersutveckling för de lokala åldersbestämda med kol-14 datering, men det är däremot uppenbart att variationen över tid är stor i respektive torvmark. Det är även stora skillnader i tillväxt, om alla torvmarkerna betraktas tillsammans. Det skiljer en tiopotens i tillväxthastighet mellan den lägsta, 0,17 mm per år i Pärlmossen, och den högsta tillväxten på 1,9 mm per år i Långängsmossen.



Figur 15. Medelvärdet för torvtillväxten, hos de torvmarker där flera kol-14-dateringar gjorts, för de senaste 1500 åren uppdelad i 500-års intervall. Resultaten visar på att torvtillväxten är högst för de yngsta torvlagren i torvmarkerna det vill säga de som är bildade under de senaste 500 åren.

Torvtillväxt under olika tidsperioder

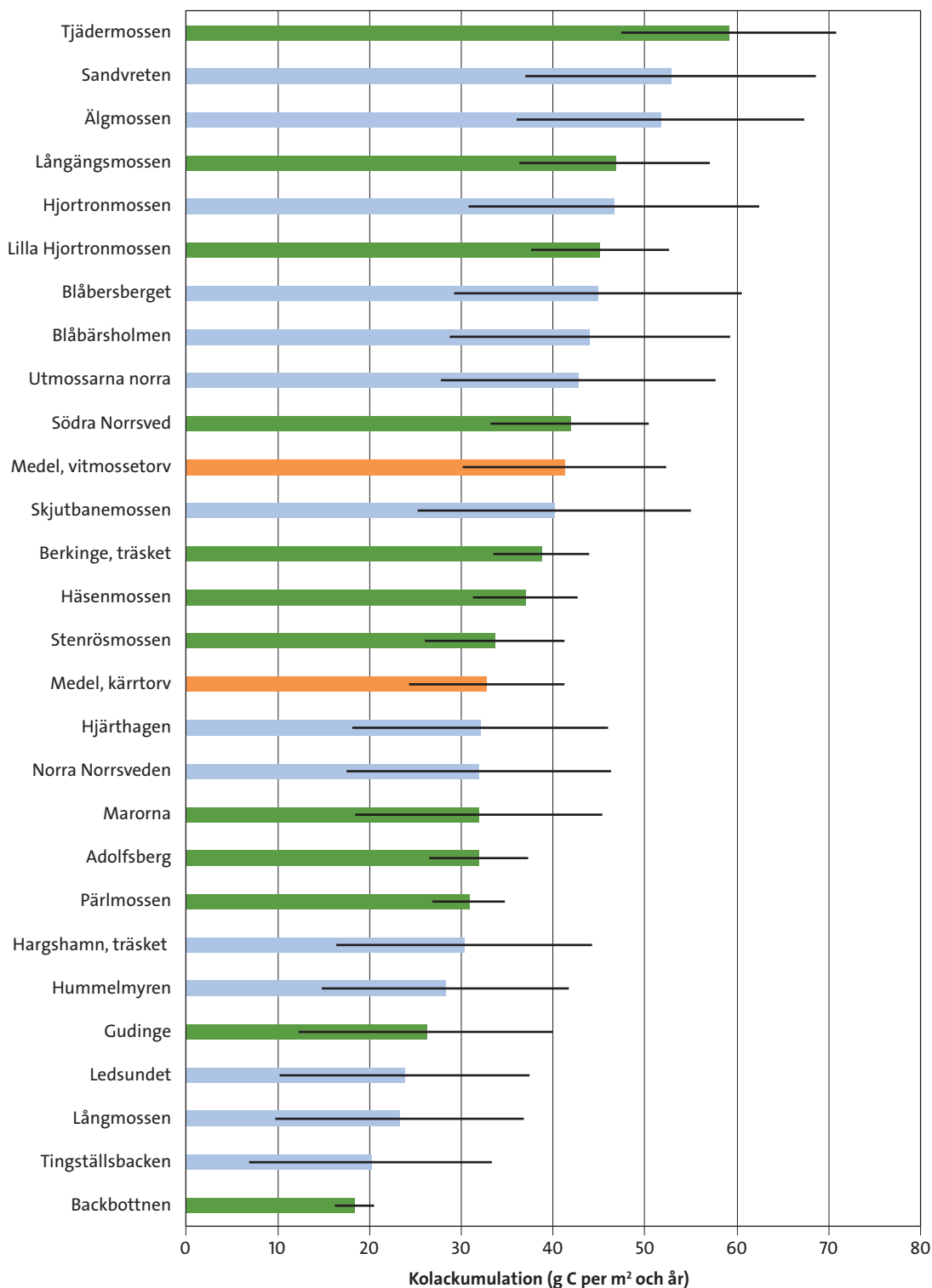
För de senaste 1500 åren har torvtillväxten för 500-årsintervaller beräknats från de lokaler där flera kol-14-dateringar gjorts. Medeltillväxten för dessa torvmarker ökar under dessa tre tidsperioder från 0,8 mm per år till 1,2 mm per år (fig. 15). Torvtillväxten är alltså 50 % högre under den senaste 500-årsperioden jämfört med för 500–1500 år sedan. Det är även skillnad i tillväxt över tid, för torvmarker dominerade av kärrvegetation respektive vitmossevegetation (fig. 14). I kärren avklingar tillväxten efter ca 1000 år, medan tillväxten är oförändrad i marker med vitmossevegetation.

Kolackumulation

Den genomsnittliga kolackumulationen (LORCA) i de undersökta torvmarkerna varierar mellan 18 och 59 g C/m² × år (fig. 16). För de torvmarker där torven domineras av vitmossor är kolackumulationen högre än för de där olika typer av kärrtorv dominerar. Medelvärdet för torvmarker dominerade av vitmosstorv är 41 g C/m² × år. För torvmarker dominerade av kärrtorv är värdet 33 g C/m² × år. Dessa värden är jämförbara med kolackumulationen hos unga torvmarker i Finland (t.ex. Turunen 2003) och uppvisar på samma sätt högre värden än äldre torvmarker av samma typ och med samma förutsättningar vad gäller klimat.

Variationer i kolackumulationen över tid

Kolackumulationen varierar över tid med torvmarkernas utveckling (tabell 2). För de lokaler där två nivåer daterats i torvstratigrafins nedre regioner är kolackumulationen för de inledande århundradena lägre än för de överlagrande torvlagren. Det är särskilt tydligt för Pärlmossen och Södra Norrsved, där kolackumulationen i den först avsatta torven enbart var omkring en fjärdedel av den hos de överliggande torvlagren. Variationen i ackumulationen över tid i en torvmark är därmed stor, och om alla torvmarkerna betraktas tillsammans skiljer det en tiopotens i kolackumulation mellan den lägsta 8 g C/m² × år, i Pärlmossen, och den högsta 87 g C/m² × år, i Långängsmossen.

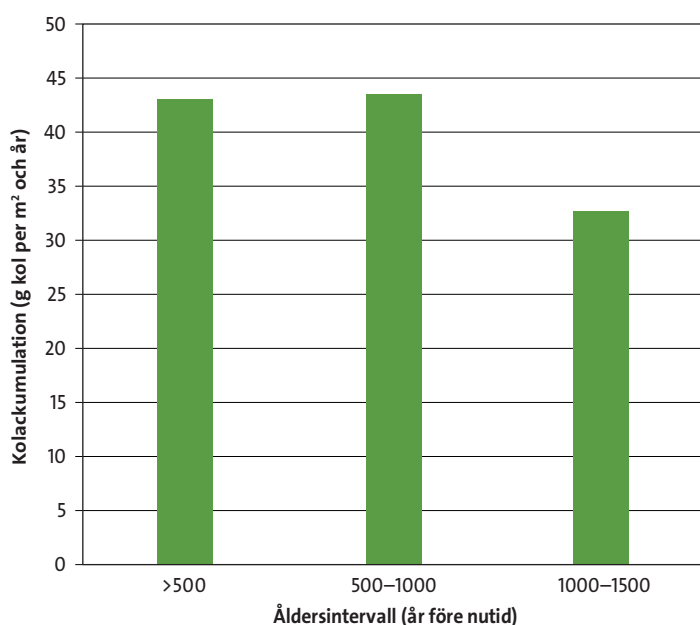


Figur 16. Genomsnittlig kolackumulation för de undersökta torvmarkerna. De gröna staplarna representerar torvmarker där åldersbestämning är gjord med hjälp av kol-14-datering och de blå staplarna torvmarker där åldersbestämningen är gjord med hjälp av SGUs landhöjningsmodell. De orangefärgade staplarna representerar medelvärdet för vitmosstorv respektive kärrtorv.

Tabell 2. Kolackumulation (g C per m² per år) för 500-års intervall för de torvmarker där dateringar från flera nivåer gjorts.

| | Torvmarkens ålder (år från när torvbildningen började) | | | | | |
|----------------------|--|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0–500 | 500–1000 | 1000–1500 | 1500–2000 | 2000–2500 | 2500–3000 |
| Södra Norrsved | 15 | 51 | | | | |
| Långängsmossen | 66 | 87 | 36 | | | |
| Stenrösmossen* | 48 | 29 | | | | |
| Pärlmossen | 8 | 36 | | | | |
| Adolfsberg | 32 | 58 | 58 | | | |
| Lilla Hjortronmossen | 43 | 54 | 54 | | | |
| Backbotten | 26 | 9 | 9 | 9 | 31 | 31 |

*För Stenrösmossen har ingen ytterligare datering gjorts i torvstratigrafins nedre regioner utöver början för torvackumulationen. En datering från de övre torvlagren gör det dock möjligt att göra en uppdelning i tidsintervall.



Figur 17. Medelvärdet för den årliga kolackumulationen i 500-årsintervall för de senaste 1500 åren. Kolackumulationen är något lägre för perioden 1000–1500 år sedan än de senaste 1000 åren.

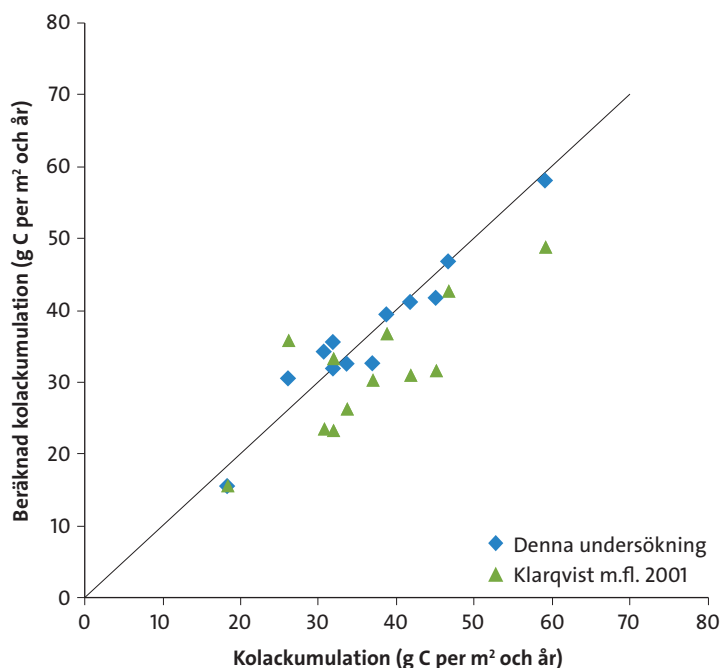
Vad gäller kolackumulationens variation över tid visar medelvärdet för 500-årsintervall för de senaste 1500 åren, att ackumulationen legat på samma nivå för de senaste 1000 åren, men att den var något lägre för perioden 1000–1500 år sedan (fig. 17).

Kolackumulationen och torvens egenskaper

I den här undersökningen har ett samband mellan kolackumulationen, torvtillväxten samt torvens bulkdensitet (kg per m³, bulkdensitet [torr]) konstaterats, och liknande samband har tidigare beskrivits av t.ex. Klarqvist m.fl. (2001). Det i den här undersökningen erhållna sambandet mellan de kol-14-daterade lokalerna har använts för att beräkna kolackumulationen hos övriga

Tabell 3. Resultat av regressionsanalysen för att bestämma kolackumulationen utifrån tillväxt och bulkdensitet hos torven.

| | r^2 | Koefficient, torvtillväxt | Koefficient, bulkdensitet (torr) | Konstant |
|-------------|-------|---------------------------|----------------------------------|----------|
| | 0,93 | 39,9 | 0,54 | -45,3 |
| Standardfel | | 3,6 | 0,06 | 8,4 |
| P | | <0,001 | <0,001 | |



Figur 18. Jämförelse mellan erhållen kolackumulation och beräknad kolackumulation för de torvmarker som kol-14-daterats. De gröna punkterna visar kolackumulationen beräknad enligt Klarqvist m.fl. 2001.

undersökta lokaler, där åldersbestämningen gjorts med hjälp av SGUs strandförskjutningsmodell. Kolackumulationen för en torvmark inom studieområdet kan beräknas enligt ekvationen:

$$\text{Kolackumulation (g/[m}^2 \times \text{år)]} = 39,9 \times \text{Torvtillväxt (mm/år)} + 0,54 \times \text{Bulkdensitet (kg/m}^3) - 45,3$$

Ekvationen är baserad på en multipel regressionsanalys, där torvtillväxt och bulkdensitet (torr) hos torven i de kol-14-daterade markerna är de ingående variablerna. Parametrar från regressionsanalysen visas i tabell 3.

I figur 18 visas förhållandet mellan den kolackumulation som beräknats för de kol-14-daterade torvmarkerna med hjälp av daterad åldersbestämning och kolackumulationen beräknad enligt ovanstående formel för dessa torvmarker. Skillnaden i värdet för ackumulation mellan dessa två metoder är liten och den största avvikelsen mellan beräknat och erhållet värde är 14 % av erhållen kolackumulation med ett medelvärde på 6 %. I figuren visas även kolackumulationen beräknad enligt Klarqvist m.fl. (2001, gröna punkter i fig. 18).

DISKUSSION

Förändringar i torvtillväxt över tiden

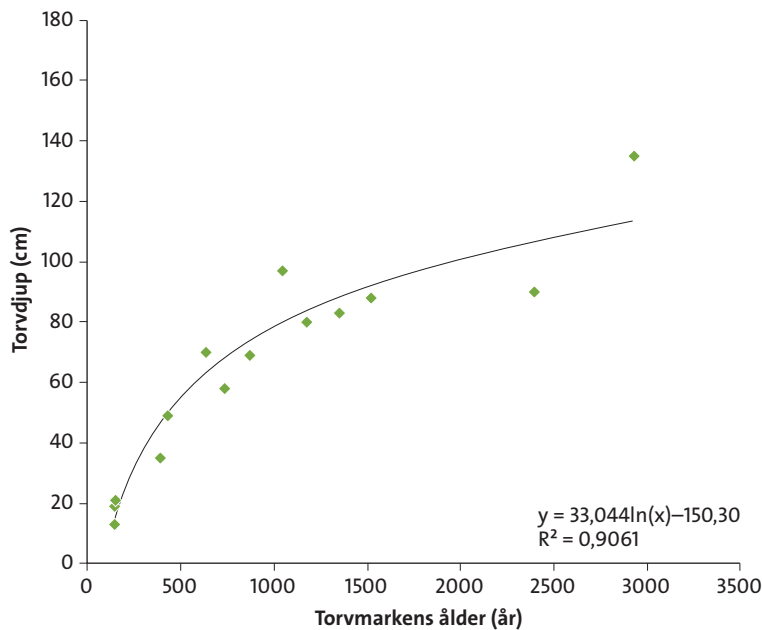
I de undersökta våtmarkerna är den vertikala torvtillväxten högst för de yngsta torvmarkerna samt hos de ytligaste, yngre torvlagren (fig. 15). Det här är en effekt av att denna torv inte kompakterats av överliggande torvlagren och inte heller börjat brytas ned i samma omfattning som äldre avsatt torv. Den högre tillväxten är alltså inte en effekt av att själva tillväxten ökat under de senaste århundradena. Det här förhållandet är uppenbart utifrån vad som registrerats om torvens egenskaper i fält (bilaga 1), och resultaten av de utförda densitetsmätningarna. Dessa resultat visar att blöta och hydrologiskt opåverkade torvmarker i stor utsträckning har en låg densitet i den ytliga torven.

Framtida torvtillväxt

Hur den framtida torvtillväxten kommer se ut i området är beroende av interna faktorer i torvmarkerna, där förändringar i vegetation är särskilt viktiga. Yttre faktorer, främst klimatet och framtida markanvändning, samt huruvida dikning kommer ske eller om funktionen hos nuvarande diken försämras är också avgörande. Förändringar i klimatet är av väsentlig betydelse eftersom det kan påverka såväl vegetationens sammansättning som nedbrytningshastighet och primärproduktion i torvmarken. För de torvmarker som inte kommer att utsättas för någon större hydrologisk påverkan och där vegetationen förändras så att andelen vitmossor blir större, kan en ökning i den vertikala tillväxten förväntas (fig. 14). Den kommer dock att avklinga med tiden (Sohlenius m.fl. 2014), särskilt om skog etablerar sig vilket minskar blötheten, vilket i sin tur hämmar torvbildningen.

De torvmarker där kärrvegetation förblir dominerade kommer däremot snabbt att få en minskad tillväxthastighet (fig. 19). Exempel på att tillväxten hos minerotrofa torvmarker minskar med tiden finns bl.a. beskrivet från Canada (Yu 2006) och även från ett större material i Uppland (Sohlenius m.fl. 2014). Det här gäller särskilt torvmarker i områden med ett kontinentalt klimat (Yu 2006). Orsakerna till detta tillväxtmönster är att torvdjupet ökar snabbt i början, tack vare god näringstillgång och en hög primärproduktion. Detta i kombination med ett svagt utvecklat acrotelm, där den snabba anaeroba nedbrytningen sker, gör att nedbrytningshastigheten blir låg. När torvmarken efter hand växer till på höjden kommer ett acrotelm att utbildas och den aeroba nedbrytningen ökar, vilket leder till att torvackumulationen minskar. I och med landhöjningen kommer även området där torvmarken utbildas att ligga högre upp i landskapet vilket kan leda till en sänkning av grundvattenytan vilket gör torvmarken torrare. Till detta ska även läggas kompaktionen av tidigare avsatt torv, anaerob nedbrytning och minskad tillgång på näring då torven isoleras från underliggande jordarter. Sammantaget kommer nybildningen av torv att med tiden bli liten. Det bör dock påpekas att denna process där torvtillväxten avtar med tiden verkar vara mycket snabb hos de undersökta torvmarkerna jämfört med resultaten från Sohlenius m.fl. (2014). En trolig förklaring till skillnaden mellan den undersökningen och den här, är att de här undersökta torvmarkerna är små och snabbt når sin maximala tillväxt medan Sohlenius m.fl. (2014) studerat torvmarker med en större variation i storlek och ålder.

Möjligheterna till en framtida areell tillväxt hos de undersökta torvmarkerna får anses som mycket begränsade, eftersom de ligger i mer eller mindre tydligt avgränsade bassänger. I de fall där det är möjligt med en lateral expansion av torvmarken får även de möjligheterna anses vara begränsade, med nuvarande klimat och mot bakgrund av nuvarande markanvändning runt torvmarkerna, med ett intensivt skogsbruk. Med förändrad markanvändning eller förändrat klimat kan dock förutsättningarna för lateral expansion förändras och i och med det flacka landskapet skulle torvutbredningen kunna bli avsevärt större.



Figur 19. Förhållandet mellan torvdjup och torvmarkens ålder för de våtmarker som i undersökningen klassificerats som karr. Torvtillväxten hos denna typ av torvmarker avtar snabbt med tiden.

Fördröjning för start av bildningen av torv

Resultatet av den här undersökningen visar att en stor andel av torvmarkerna i området verkar ha bildats genom primär torvbildning. Så är även fallet för områden med liknande förhållanden i södra Finland (Korhola & Tolonen 1996). Den fördröjning i tid vad gäller början för avsättningen av torv enligt kol-14-dateringarna (fig. 9), jämfört med den ålder då bassängerna hamnade ovanför Östersjöns yta enligt SGUs landhöjningsmodell, kan bero på flera faktorer. Det behöver inte vara en verklig fördröjning i etablering av torvbildande vegetation, det kan i stället vara svårt att få en rättvisande datering av när den första torvbildningen skett.

I helt nybildade våtmarker är förutsättningarna dåliga för avsättning av torv. Riklig tillgång på syrerikt grundvatten och god näringstillgång ökar nedbrytningshastigheten, vilket gör att det inledningsvis bildas mycket lite torv (t.ex. Damman 1996). Den låga tillväxthastigheten i kombination med att torven kompakteras gör det svårt att ta ut prover för kol-14-datering som representerar den initiala torvbildningen. Det här är den troligaste förklaringen till varför en fördröjning av torvbildningen registrerats. Kol-14-dateringarna är även gjorda på bulkprover av torven, som kan vara kontaminerade av t.ex. rötter från yngre vegetation.

Det kan även ha förekommit ett kortare sjöstadium i torvmarkerna som inte har kunnat identifieras i jordartsstratigrafien. Då skulle torvmarkerna i större utsträckning vara igenväxningstorvmarker med ett föregående sjöstadium, och inte bildade genom primär torvmarksbildning. I så fall skulle dateringarna visa på en verklig fördröjning i torvbildningen.

Ytterligare en möjlig förklaring till att det registrerats en fördröjning i starten för bildning av torv skulle kunna vara ett systematiskt fel i den strandförskjutningsmodell som använts för att bestämma den högsta teoretiska åldern för, när torv kan ha börjat bildas på platsen. Ett systematiskt fel som ger en för hög ålder för när torvbildning skulle kunna påbörjas, kan ge en skenbar fördröjning av torvbildningen. För norra delen av undersökningsområdet finns en strandförskjutningskurva framtagen (Hedenström & Risberg 2003). Den överensstämmer väl med strandförskjutningsmodellen, varför ett systematiskt fel i modellen är mindre sannolikt.

Kolackumulation

Den för torvmarkerna i denna undersökning erhållna kolackumulationen är, jämfört med andra studier av LORCA, hög men i samma storleksordning som resultat från områden med unga torvmarker (t.ex. Korhola m.fl. 1995). Medelvärdet för de undersökta torvmarkerna i Uppland är $36,6 \text{ g C per m}^2 \times \text{år}$ och för unga torvmarker (yngre än 4 000 år) i Finland är LORCA $36,3 \text{ g C/m}^2 \times \text{år}$ (Korhola m.fl. 1995). En vidare jämförelse med boreala torvmarker i allmänhet visar att dessa ofta har en kolackumulation omkring $20\text{--}30 \text{ g C/m}^2 \times \text{år}$ (t.ex. Clymo m.fl. 1998, Turunen 2003). Den högre kolackumulationen hos de unga torvmarkerna kan förklaras av en hög växtproduktion, den i sin tur skulle bero på högre näringsstatus. Samtidigt förekommer ett svagt utbildat acrotelm, vilket gör att den aeroba nedbrytningen begränsas. Torvmarkernas låga ålder gör även att mycket lite material hunnit gå förlorat genom den anaeroba nedbrytningen i catotelmet. Det här sammantaget gör att en större del av produktionen kommer att vara torvbildande.

Det faktum att de torvmarker där vegetationen domineras av vitmossor har en högre kolackumulation jämfört med torvmarker med annan vegetation, överensstämmer med andra undersökningar där mossor med en vegetation dominerad av vitmossor har en högre kolackumulation (t.ex. Turunen m.fl. 2002). Även om inga riktiga högmossor finns i området urskiljer sig de vitmossedominerade torvmarkerna, genom högre genomsnittlig kolackumulation. Den högre ackumulationen i dessa torvmarker beror på att vitmossor är mer motståndskraftiga mot nedbrytning jämfört med annan torvbildande vegetation.

Sambandet mellan kolackumulation och torvtillväxt samt torvens densitet i denna undersökning, liknar mycket det samband som presenterats av Klarqvist m.fl. (2001). En skillnad är att bulkdensiteten har ett större genomslag på kolackumulationen i den här studien, jämfört med Klarqvist m.fl. (2001). Skillnaden kan bero på att de unga torvmarker som använts i den här studien har hög tillväxt men låg densitet. Densiteten kommer därför att bli av större betydelse totalt sett i den grupp av torvmarker som undersökts i den här studien. Jämfört med Klarqvist m.fl. (2001) ger det erhållna sambandet här i de flesta fall även ett högre värde för kolackumulationen. Det faktum att studien behandlar unga torvmarker vilka ofta har en högre ackumulation än genomsnittet, talar för att det här konstaterade sambandet mellan tillväxt och bulkdensitet är relevant för den här typen av torvmarker. Det bör dock användas med försiktighet för andra geografiska områden och torvmarker av högre ålder.

Torvtillväxt och kolackumulation idag

De undersökta torvmarkerna i den här studien har en jämförelsevis normal tillväxthastighet och en relativt hög kolinbindning sett som ett medelvärde över torvmarkernas hela utveckling. Den genomsnittliga tillväxten och kolinbindningen säger dock inte mycket om det nuvarande tillståndet och hur torvtillväxten ser ut idag.

Flertalet av de undersökta kärrtorvmarkerna är idag relativt torra i ytan och hos dessa sker det idag ingen nämnvärd nybildning av torv, då det saknas tillräckliga förutsättningar för en effektiv torvbildning. Dessa torvmarker avger däremot troligen koldioxid till atmosfären genom nedbrytningen av den tidigare avsatta torven. Hos de kärrtorvmarker som är äldre än 1 500 år sker det antagligen inte heller någon nämnvärd torvbildning eller inbindning av kol idag. Detta eftersom tillväxthastigheten hos denna typ av torvmarker snabbt sjunker från den tidpunkt då de börjar bildas (fig. 19). Hos de yngre kärrtorvmarkerna med tillräcklig blöthet och med en ålder upp till 1 000 år, sker det däremot tillväxt idag. För de flesta av dessa kommer dock tillväxthastigheten att snabbt minska förutsatt att deras vegetation inte förändras eller att klimatet blir mer gynnsamt för torvbildning.

Torvackumulation och kolinbindning hos de skogklädda mossarna (fig. 20) undersökta i den här studien är också i flera fall mycket begränsad. De har vuxit relativt snabbt och fått ett väl



Figur 20. Häsenmossen, ett exempel på en skogsklädd mosse där vitmossevegetationen till stor del försvunnit och ganska torra markförhållanden för att vara en torvmark.

utbildat acrotelm där det kan ske en oxidation av torven. Etableringen av skog gör även att dessa torvmarker blir relativt torra, med begränsade möjligheter till torvbildning. Hos dessa torvmarker sker det däremot en inbindning av kol i trädvegetationen. På flera av skogsmossarna har även vitmossorna till stor del ersatts av annan vegetation som inte är en lika effektiva torvbildare. Hos skogsmossarna förekommer det även att det översta torvlagret är kraftigt nedbrutet (fig. 21) vilket tyder på att torvmarkerna inte längre har någon torvbildande funktion. Det här fenomenet har även observerats på mossar och andra typer av torvmarker i södra och mellersta Sverige (Franzen 2006, Schoning, pågående arbete) och tolkas som att tidigare avsatt torv börjat utsättas för en sekundär nedbrytning och att nybildningen av torv är mycket begränsad på platsen.

Sammanfattningsvis är det mycket som tyder på att torvtillväxt och kolackumulation hos de små torvmarkerna i Upplands kustområde generellt är lägre idag än de genomsnittliga värden som representerar torvmarkernas hela utveckling.

Generellt mönster i kolackumulationen hos områdets torvmarker

I den här undersökningen har det gjorts observationer i fält och analyser av torvens egenskaper i ett antal torvmarker i regionen. Tillsammans med den generella kunskap som finns om hur unga torvmarker tillväxer under sin allra första tid och hur den förändras med torvmarkens mognad och utveckling, går det att göra sig en generell bild av hur kolackumulationen varierar över tid hos små torvmarker i Uppland.

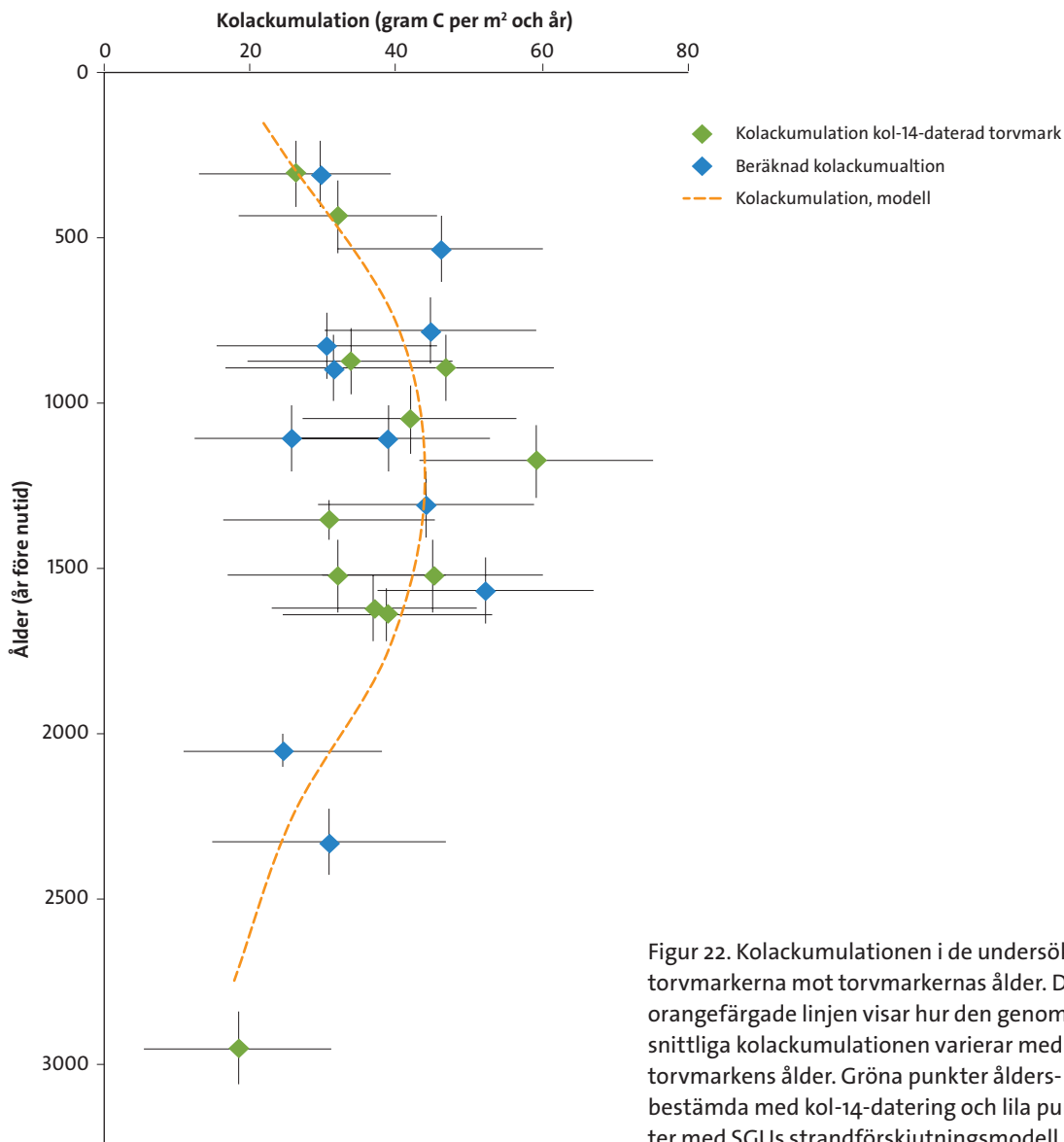
Mot bakgrund av hur kolackumulationen ser ut i de yngsta torvmarkerna i undersökningen och hur ackumulationen varierat över tid för de marker där flera dateringar gjorts, finns det



Figur 21. Ett exempel där det övre torvlagret (Till höger i bilden) har en avsevärt högre humifieringsgrad jämfört med underliggande torv. En indikation på att ny torv inte bildas på platsen och att redan avsatt torv börjar brytas ner.

mycket som tyder på att det finns ett mönster i hur kolackumuleringen varierar över tiden. Genom att använda sambandet mellan kolackumulering och tillväxthastighet och bulkdensitet, samt använda sig av de värden för tillväxt och bulkdensitet erhållna i den här undersökningen, kan en kurva över hur kolackumuleringen varierat över tid tas fram (fig. 22). Resultatet visar att i början av torvmarkernas utveckling är kolackumuleringen låg även om den vertikala torvtillväxten är snabb. Med ökande densitet hos den avsatta torven och en fortsatt relativt hög tillväxthastighet kommer torvmarken att ha en period mellan ca 700 och 1500 års ålder då kolackumuleringen är som högst. Ackumuleringen kommer sedan att minska och avklinga med tiden, på grund av en minskad torvtillväxt medan densiteten hos den avsatta torven är relativt konstant.

Mängden data för torvmarker äldre än 2000 år är liten i den här studien (fig. 22) och det är möjligt att de inte är representativa för hela, stora gruppen av torvmarker. Men observationerna i fält av egenskaper hos torvmarker av olika ålder och det faktum att tillväxten hos markerna i Uppland minskar över tid (Sohlenius m.fl. 2014) gör det här till ett troligt scenario för hur kolackumuleringen utvecklas över tid hos dessa små torvmarker. Den här modellen tar inte fullt ut hänsyn till om torvmarkernas vegetation förändras i den enskilda marken eller hur variationer i klimatet har påverkat torvmarkerna under dessa 2000 år. Det är därför fullt möjligt att klimatets variationer under denna tidsperiod kan vara en bidragande orsak till de observerade variationerna i kolackumulering.



Figur 22. Kolackumulationen i de undersökta torvmarkerna mot torvmarkernas ålder. Den orangefärgade linjen visar hur den genomsnittliga kolackumulationen varierar med torvmarkens ålder. Gröna punkter åldersbestämda med kol-14-datering och lila punkter med SGUs strandförskjutningsmodell.

SLUTSATSER

De undersökta torvmarkerna har en genomsnittlig torvtillväxt på 0,85 mm per år för kärr och 1,05 mm per år för vitmossedominerade torvmarker vilket är jämförbart med andra torvmarker i Sverige. Den erhållna kolackumulationen LORCA (Long term Carbon Accumulation) på 36,6 g C per m² × år är högre än genomsnittet för boreala torvmarker, men likvärdig med andra unga torvmarker.

Det finns ett tydligt samband mellan kolinbindning och torvtillväxt och torvens bulkdensitet, där bulkdensiteten har en större betydelse än den vertikala tillväxthastigheten.

De undersökta små torvmarkerna har en hög genomsnittlig kolackumulation och efter en inledande period med låg ackumulation når de snabbt sina optimala förhållanden för tillväxt och kolinbindning. Ackumulationen är som högst under åldersintervallet 700 till 1500 år. Efter 1500 års ålder börjar kolackumulationen avta på grund av en minskad vertikal tillväxthastighet.

Hos flertalet av de undersökta torvmarkerna är tillväxten och kolinbindningen idag mycket begränsad på grund av avvattning i landskapet samt att de uppnått sin högsta vertikala tillväxtnivå under gällande klimatförhållanden.

REFERENSER

- Bronk Ramsey, C., 2009: Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51, 337–360.
- Damman, A.W.H. 1996: Peat accumulation in fens and bogs: effects of hydrology and fertility. I R. Laiho, J. Laine & H. Vasander (red.): Northern peatlands in global climatic change. Proceedings of the International Workshop. Hyttiala, Finland. 8–12 October 1995. *Publications of the Academy of Finland* 196, 213–222.
- Franzen, L., 2002: Tillväxtdynamik hos några myrar i södra Sverige – samt några noteringar om torvmarker som arkiv över atmosfärhändelser under holocen. *Stiftelsen Svensk Torvforskning Projektrapport* 47, 40 s.
- Franzen, L., 2006: Increased decomposition of subsurface peat in Swedish raised bogs: are temperate peatlands still net sinks of carbon? *Mires and Peat* 1, 1–16.
- Fredriksson, D., 2004: Peatland investigation Forsmark. Forsmark site investigation. *SKB-rapport P-04-127*.
- Gorham, E., 1991: Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climate warming. *Ecological Applications* 1, 182–195.
- Hedenström, A. & Risberg, J., 2003: Shore displacement in northern Uppland during the last 6500 calendar years. *SKB-rapport TR-03-17*.
- Klarqvist, M., 2001: *Peat growth and carbon accumulation rates during the Holocene in Boreal mires*. PhD thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå.
- Korhola, A. & Tolonen, K., 1996: The natural history of mires in Finland and the rate of peat accumulation. I H. Vasander (red.): *Peatlands in Finland*. 20–26.
- Korhola, A., Tolonen, K., Turunen, J. & Jungner, H., 1995: Estimating long-term carbon accumulation rates in boreal peatlands by radiocarbon dating. *Radiocarbon* 37, 575–584.
- Kuhry, P., 1998: Late Holocene permafrost dynamics in two Subarctic peatlands of the Hudson Bay Lowlands (Manitoba, Canada). *Eurasian Soil Science* 31, 529–534.
- Mäkilä, M. 2006. Regional distribution of peat increment in Finland. I T. Lindholm & R. Heikkilä (red.): Finland – land of mires. *The Finnish Environment* 23/2006. Helsinki. Finnish Environment Institute, 89–93.
- Mäkilä, M., Kauppila, T. & Alenius, T., 2003: Turvelajit ja turpeen ominaisuudet keidassuon hiilenkertymän selittäjinä, esimerkkinä Hausjärven Kilpisuo. Peat types and peat properties explaining carbon accumulation rate in Kilpisuo. *Geological Survey of Finland Report P 40.4.004*, 1–15.
- Pässe, T. & Andersson, L., 2005: Shore-level displacement in Fennoscandia calculated from empirical data. *GFF* 127, 253–268.
- Päivänen, M., 1969: The bulk density of peat and its determination. *Silva Fennica* 3, 1–19.
- Rundgren, M., 2008: Stratigraphy of peatlands in central and northern Sweden: evidence of Holocene climatic change and peat accumulation. *GFF* 130, 95–107.
- Rydin, H., & Jeglum, J., 2006: *The biology of peatlands*. Oxford University Press, 343 pp.
- Sohlenius, G., Schoning, K. & James, A., 2014: Development, carbon balance and agricultural use of peatlands – overview and examples from Uppland Sweden. *SKB-rapport TR 13-20*.
- von Post, L. & Granlund, E., 1926: Södra Sveriges torvtillgångar I. *Sveriges geologiska undersökning C* 335.
- Turunen, J., 2003: Past and present carbon accumulation in undisturbed boreal and subarctic mires: a review. *Suo* 54, 15–28.

- Yu, Z.C., 2006: Holocene carbon accumulation of fen peatlands in boreal western Canada: A complex ecosystem response to climate variation and disturbance. *Ecosystems* 9, 1278–1288.
- Yu, Z.C., Beilman, D.W. & Jones, M.C., 2009: Sensitivity of northern peatland carbon dynamics to Holocene climate change. I A.J. Baird, X. Comas, L.D. Slater, L.R. Belyea & A.S. Reeve (red.): Carbon cycling in northern peatlands. *Geophysical monograph series 184*, 55–69.

BILAGA 1. UNDERSÖKTA TORVMARKER

Egenskaper hos de torvmarker som använts i undersökningen.

| Torvmark | X | Y | Torvmarkstyp | Torvdjup (cm) | Torvslag* | Underlagrande jordart | Tröskelhöjd (m) | Ålder isolering** | Densitet g/cm ³ (medel) | Askhalt % (medel) |
|----------------------|--------|---------|------------------------------------|---------------|-----------|-----------------------|-----------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|
| Gudinge | 665690 | 6710656 | Brunmoss-starr-kärr, små S-tuvor | 37 | BC | Gyttjeler | 4 | 654 | 38 | 9 |
| Marorna | 667169 | 6706788 | Brunmoss-starr-kärr, små S-tuvor | 50 | BC | Gyttjeler | 4 | 654 | 53 | 9 |
| Långängsmossen | 675610 | 6692240 | Mosse | 134 | S | Gyttjeler | 9 | 1382 | 58 | 2 |
| Stenrösmossen | 675363 | 6697277 | Kärr | 90 | C | Gyttjeler | 9 | 1382 | 85 | 8,6 |
| Pärilmossen | 640588 | 6716989 | Brunmoss-starrkärr | 83 | BC | Gyttjeler | 10 | 1519 | 102 | 9 |
| Adolfberg | 691416 | 6673756 | Mosse | 91 | S | Lera | 12,4 | 1836 | 107 | 4,8 |
| Lilla Hjortronmossen | 641125 | 6715376 | Tall- och rismosse | 174 | S | Gyttja (12 cm) | 13 | 1913 | 90 | 3,5 |
| Södra Norrsved | 686848 | 6681033 | Kärr | 97 | C | Gyttjeler | 13 | 1913 | 91 | 9 |
| Häsenmossen | 640621 | 6714776 | Tall- och rismosse | 170 | S | Gyttjeler | 14 | 2038 | 68 | 2,3 |
| Tjädermossen | 640436 | 6715412 | Tall- och rismosse | 215 | S | Gyttja (15 cm) | 15 | 2161 | 66 | 2 |
| Berkinge, träsket | 666043 | 6693535 | Kärr | 215 | CB | Gyttja (35 cm) | 23,5 | 3086 | 61 | 9 |
| Backbotnen | 638933 | 6714295 | Kärr | 190 | C | Grovdeptritusgyttja | 29 | 3574 | 79 | 5,9 |
| Blåbersberget | 670826 | 6702578 | Kärr | 85 | C | Morän | 10 | 1519 | 117 | 9 |
| Hjortronmossen | 664119 | 6705439 | Mosse | 125 | S | Gyttjeler | 13 | 1913 | 111 | 4 |
| Hummelmyren | 670256 | 6704647 | Lövkärr | 20 | BC+L | Gyttja (25 cm) | 1,7 | 295 | 60 | 10 |
| Ledsundet | 678043 | 6692012 | Kärr | 20 | Phr | Gyttja (20 cm) | 4 | 654 | 92 | 10 |
| Långmossen | 671096 | 6702552 | Kärr | 50 | PhrB | Gyttja (35 cm) | 9,5 | 1451 | 92 | 9 |
| Norra Norrsveden | 687103 | 6681394 | Kärr | 100 | SC | Morän | 17 | 2397 | 101 | 5 |
| Sandvreten | 675565 | 6692158 | Mosse | 105 | S | Gyttjeler | 8 | 1242 | 82 | 2,5 |
| Utmossarna n:a | 668584 | 6704550 | Brunmoss-starrkärr | 60 | BC | Gyttja (20 cm) | 5,5 | 880 | 82 | 9 |
| Älgmossen | 668577 | 6704557 | Brunmoss-starr-kärr, stora S-tuvor | 115 | S | Gyttja (5 cm) | 7,2 | 1128 | 82 | 5 |
| Hjärthagen | 660822 | 6707225 | Tall- och rismosse | 150 | S | Lergyttja | 13 | 1913 | 66 | 1,5 |
| Blåbärsholmen | 660525 | 6710474 | Tall- och rismosse | 80 | CS | Gyttjeler | 7,5 | 1171 | 95 | 5 |
| Skjutbanemossen | 687303 | 6683180 | Tall- och rismosse | 115 | S | Sand | 11 | 1653 | 90 | 2,5 |
| Hargshamn, träsket | 690923 | 6675280 | Kärr | 90 | PhrS | Gyttja (60 cm) | 11 | 1653 | 80 | 7 |
| Tingstälisbacken | 654242 | 6710052 | Tall- och rismosse | 110 | S | Gyttja (13 cm) | 19,5 | 2677 | 82 | 2,5 |

BILAGA 2. KOL-14-DATERINGAR

Resultat från de kol-14-dateringar som gjorts på de undersökta torvmarkerna.

| Torvmark | Lab. nummer | Daterat djup (cm) | Torvslag | kol-14-ålder |
|----------------------|-------------|-------------------|----------|----------------------------|
| Stenrösmossen | LuS 9934 | 13 | C | 50±45 |
| Stenrösmossen | LuS 9935 | 69 | C | 970±50 |
| Adolfsberg | LuS 9936 | 21 | S | 140±50 |
| Adolfsberg | LuS 9937 | 88 | CS | 1 640±50 |
| Långängsmossen | LuS 9938 | 19 | S | 55±45 |
| Långängsmossen | LuS 9939 | 120 | S | 905±50 |
| Långängsmossen | LuS 9940 | 134 | CS | 995±50 |
| Backbottnen | LuS 9941 | 35 | S | 310±45 |
| Backbottnen | LuS 9942 | 58 | S | 815±50 |
| Backbottnen | LuS 9943 | 90 | CS | 2 330±50 |
| Backbottnen | LuS 9944 | 135 | B | 2 820±50 |
| Marorna | LuS 10329 | 49 | BC | 425±50 |
| Södra Norrsved | LuS 10330 | 70 | C | 695±45 |
| Södra Norrsved | LuS 10331 | 97 | C | 1 120±45 |
| Pärlmossen | LuS 10332 | 80 | BC | 1 255±45 |
| Pärlmossen | LuS 10333 | 83 | BC | 1 435±45 |
| Häsenmossen | LuS 10334 | 167 | S | 1 695±45 |
| Tjädermossen | LuS 10335 | 197 | S | 1 225±45 |
| Lilla Hjortronmossen | LuS 10336 | 146 | S | 1 245±50 |
| Lilla Hjortronmossen | LuS 10337 | 183 | S | 1 635±50 |
| Berkinge, träsket | LuS 10760 | 214 | CS | 1 725±35 |
| Gudinge | LuS 10761 | 37 | BC | 1 347±0,004 (aktivitet) |