

Seminarieuppsatser nr 134

# Koldioxidbalans och koldioxidinnehållsimulering av barrskog i Kristianstads län, samt klimatförändringens inverkan på skogen



**Peter Valoczi**

---

2007  
Centrum för Geobiosfärvetenskap  
Naturgeografi och Ekosystemanalys  
Lunds Universitet  
Sölvegatan 12  
223 62 Lund





# Koldioxidbalans och koldioxidinnehållsimulering av barrskog i Kristianstads län, samt klimatförändringens inverkan på skogen

---

Peter Valoczi

Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemanalys  
Examensarbete, 20p i naturgeografi  
Lunds Universitet

Handledare: Fredrik Lagergren



## **Abstract**

The carbon dioxide concentration has increased ever since the industrial revolution. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change ( IPCC ) the carbon dioxide concentration in the atmosphere will continue to rise. It will rise from today's 360 parts per million ( ppm ) to somewhere between 540 and 970 ppm in the year 2100. By then, the average temperature will have increased with 1,4 °C to 5,8 °C in the northern hemisphere. The Kyoto protocol was launched in February 2005. The Kyoto treaty from the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC ) has been ratified by 55 countries. These countries have undertaken the mission to reduce their greenhouse gas emissions eight percent below their 1990 baseline over the 2008 to 2012 period.

In the Swedish municipality of Hässleholm, there are carbon balance measurements in progress at the Fäje mire by the department of Physical Geography and Ecosystem Analysis. The municipality has recently shown a growing interest in how the carbon stock and balance in the forest will be in the future.

Two different simulation programs, ProdMod and CO2 FIX, were used to simulate today's and the future carbon stock and balance for Norway spruce and Scots pine stands. The simulations showed that there will be increases in forest productivity and that the carbon balance will increase by 46 per cent at the end of year 2100, when the Special Report on Emissions Scenarios ( SRES ) A2 scenario is applied.

**Key words:** Carbon dioxide, carbon stocks, IPCC, SRES, ppm, Kyoto protocol, UNFCCC, greenhouse gases, Hässleholm, Scots pine, Norway spruce, ProdMod, CO2 FIX.



## Sammanfattning

Koncentrationen av koldioxid i atmosfären har ökat sedan den förindustriella eran, mellan åren 1000 och 1750, från 280 parts per million ( ppm – miljondelar ) till 368 ppm år 2000 vilket motsvarar ungefär 31 %. Enligt de sex illustrativa utsläppsscenariernas, utsago ( Special Report on Emissions Scenarios, SRES ) kommer koncentrationen av koldioxid vara mellan 540 och 970 ppm år 2100 ( IPCC, 2001 ). Temperaturen i den norra hemisfären beräknas öka med mellan 1,4 °C och 5,8 °C från år 1990 till 2100. De olika värdena baseras på vilket av de sex olika SRES utsläppsscenarioer man använder ( IPCC, 2001 ).

Kyoto-protokollet trädde ikraft den 16e februari 2005. Detta innebär att de 55 industriländer som har undertecknat avtalet för Förenta Nationernas ramkonvention om klimatförändringar ( UNFCCC ) har förbundit sig att minska sina utsläpp av växthusgaser med minst 8 % jämfört med 1990 års nivå. Denna minskning ska ske till perioden 2008 - 2012 ( Stripple, 2002 ).

I Hässleholms kommun, Skåne, bedrivs det ett projekt av Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemanalys ( INES ), där man mäter koldioxidbalansen på en myr. I samband med detta projekt har Hässleholms kommun visat intresse för mer information på kommunal nivå om hur den totala kolbalansen i skogarna kan komma att se ut i framtiden. Med Kyoto-protokollet underskrivet kommer kommunerna att ha en större vikt och förmodligen en mer ansvarfull roll i hur man ska hantera en minskning av utsläppen av växthusgaser i naturen. Detta är i dags dato fortfarande ett frivilligt projekt inom kommunen.

Examensarbetet riktar sig i första hand på att bestämma dagens kolinnehåll och kolbalans och hur de i framtiden kommer att förändras. Vilka effekter detta får på barrskogsbeståndet i Kristianstads län och hur simuleringarna kan vara till framtida användning för Hässleholms kommun diskuteras också.

För att kunna göra beräkningar av både koldioxidinnehåll och koldioxidbalans i barrskogen i Hässleholms kommun, behövs olika skogsdata, såsom, ålder, typ av skog med mera. Dessa data var inte tillgänglig för Hässleholms kommun. Skillnader i produktion och lagringsförmåga för olika skogstyper är naturligtvis betydelsefulla. När beräkningarna är färdiga kan man göra en simulering på hur kolbalansen kommer att förändras med tiden med de nämnda globala förändringarna av koldioxidkoncentration och temperatur.

En förväntad koldioxidökning i atmosfären samt en ökande global medeltemperatur leder till att skogsbestånden kommer att förändras med tiden. Barrträdens produktivitet kommer att öka, vilket leder till högre träd, som tar upp mer kol i biomassan. En omloppstids maximala kolupptag i biomassan kommer i medeltal att öka med 60 %, medan markens kolbalans kommer få en 54,6 procentig ökning. När koldioxidinnehållet åter igen stabiliserats i området, har det bildats nya förutsättningar för

beståndet. Denna stabilisering sker efter att maximal koldioxidhalt och temperatur har uppnåtts. Resultatet blir att skogen kommer att få en ny produktionsnivå.

Barrskogarnas ståndortsindex beräknas att öka med i genomsnitt 8,7 meter i Kristianstads län under de närmsta 500 - 600 åren. Då simuleringen har pågått i 500 - 600 år kommer medelkolbalansen att öka i området från dagens 0.87 ton kol/(ha år) till 1.28 ton kol/(ha år), vilket ger en ökning på 46,3 %. Det betyder att skogen kommer att ta upp 47,1 % mer koldioxid i framtiden än vad den gör idag. I hela Kristianstads läns skog där <70 % av barrskogen dominerar, kommer kolupptaget att öka från dagens 121216 ton kol till 177376 ton kol, vilket är en ökning på 46 %. Kommer barrskogen utvecklas som mina simuleringar visar, är det ett positivt tecken för framtiden, då mer kol kommer att bindas i barrskogsbestånden.

**Nyckelord:** Koldioxid, kolinnehåll, kolbalans, Kyoto-protokollet, IPCC, SRES, klimatförändringar, gran, tall, Kristianstads län, Hässleholm. biomassa.



# Innehållsförteckning

<b>Abstract</b>	<b>III</b>
<b>Sammanfattning</b>	<b>V</b>
<b>Innehållsförteckning</b>	<b>VII</b>
<b>1. Introduktion</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund till arbetet	2
1.2 Områdesbeskrivning	
1.3 Syfte	3
1.4 Förväntade resultat	4
1.5 Disposition	
<b>2. Bakgrund</b>	<b>5</b>
2.1 Skogars kolbalans	
2.2 Klimatets inverkan på nettokolbalansen	8
2.2.1 Fotosyntes	
2.2.2 Respiration	9
2.2.3 NPP	10
2.3 Faktorer som påverkar processerna i kolbalansen	11
2.3.1 Näring	
2.3.2 Nederbörd	
2.3.3 Temperatur	
2.3.4 Ljus	
2.3.5 Koldioxid	12
2.4 Växthuseffekten	13
2.5 Skoglig påverkan vid eventuella framtida klimatförändringar	15
2.6 Gallring	18
2.6.1 Varför behöver man gallra?	
2.6.2 Hur hårt ska man gallra?	
2.6.3 När ska man gallra?	19
2.6.4 Hur påverkas skogen?	
2.6.5 Om ingen gallring sker?	
<b>3. Material och metod</b>	<b>21</b>
3.1 Riksskogstaxeringen	
3.2 Undersökningsområdet	
3.3 Val av skogsbestånd	22
3.4 Beräkning av skogsbestånd i Kristianstads län	
3.4.1 Åldersfördelning av skogen	23
3.5 Val av simuleringsprogram och beräkningar	25
3.5.1 ProdMod	
3.5.2 Simulering av skogsbestånd	26

3.5.3 Beräkning av relativ tillväxt av biomassa för gran och tall	
3.5.4 Barr	27
3.5.5 Grenar	
3.5.6 Rötter	
3.6 CO2 FIX	28
3.6.1 Biomassavariabler	29
3.6.2 Gallring	30
3.6.3 Nedbrytningsprocesser i marken	
3.6.4 SRES utsläppsscenario A2	31
3.6.5 Klimatförändringens simulering	32
3.6.6 Framtida kolinnehållssimulering	33
3.6.7 Framtida kolbalanssimulering	
<b>4. Resultat</b>	<b>35</b>
4.1 Framtidssimulering av kolinnehåll för granbestånd, SI 30	36
4.1.2 Framtidssimulering av kolbalans för granbestånd, SI 30	37
4.2 Kolinnehåll, gran 32	38
4.2.1 Kolbalans, gran 32	39
4.3 Kolinnehåll, gran 34	40
4.3.1 Kolbalans, gran 34	41
4.4 Kolinnehåll, tall 14	42
4.4.1 Kolbalans, tall 14	43
4.5 Kolinnehåll, tall 28	44
4.5.1 Kolbalans, tall 28	45
4.6 Framtidssimulering av totalt kolinnehåll för samtliga bestånd	46
4.6.1 Framtidssimulering av kolbalans för samtliga bestånd	47
<b>5. Diskussion</b>	<b>50</b>
5.1 Koldioxidutsläppet i atmosfären	
5.2 Simuleringsprogrammen	
5.3 Resultat	51
5.3.1 Andra undersökningar på skogsbestånd	52
5.4 Hur väl kan simuleringen stämma överens med framtiden?	53
5.5 Hässleholms kommuns inverkan	
5.6 Hur blir framtiden? Vad kan vi göra!?	54
<b>6. Slutsats</b>	<b>56</b>
<b>7. Referenser</b>	<b>57</b>
7.1 Litteratur	
7.2 Muntliga källor	61
7.3 E-post korrespondens	
7.4 Internetkällor	

# 1. Introduktion

Under den industriella revolutionens tidigare glansdagar hade man obetydlig vetenskap om hur mycket koldioxid industrierna släppte ut i atmosfären. De senaste åren har den förhöjda koldioxidkoncentrationen i atmosfären varit ett ständigt samtalsämne mellan forskare och experter inom området. Diskussionerna baseras oftast på följande fakta, att koncentrationen av koldioxid i atmosfären har ökat alltsedan den förindustriella eran, som varade mellan åren 1000 till 1750. Koldioxidinnehållet i atmosfären har sedan dess ökat från 280 parts per million ( ppm – miljondelar ) till 370 ppm till år 2000. Detta innebär att koldioxidhalten i atmosfären ökar från 0,028 till 0,037 % ( SMHI, 2001 ). Det är en 32 procentig koldioxidökning, dock finns det osäkerhet i beräkningen med  $\pm 4$  % ( IPCC, 2001 ). Fourth Assessment Report ( AR4 ) är den senaste klimatrapporten som är sammanställd av IPCC. Klimatmötet i Paris den 2a februari markerade startskottet för den fjärde klimatrapporten, som är den hittills mest omfattande undersökningen om klimatförändringarna. Där har forskarna bevisat att temperaturökningen är antropogent orsakad ( IPCC, 2007 ).

FN:s vetenskapliga klimatpanel, Intergovernmental Panel on Climate Change ( IPCC ) upprättades 1988 genom två olika organisationer inom Förenta Nationerna ( FN ). Syftet var att fastställa ”*riskerna av en klimatförändring introducerad av människan*”. De två organisationerna var den världsmeteorologiska organisationen, World Meteorological Organisation ( WMO ) och FN:s miljöprogram, United Nations Environment Programme ( UNEP ) ( IPCC, 2001 ).

Beroende på vilket av de sex olika illustrativa utsläppsscenarier ( Special Report on Emissions Scenarios, SRES ) man använder, så kommer den beräknade koncentrationen av koldioxid enligt forskarnas utsago vid IPCC vara mellan 540 och 970 ppm år 2100. Temperaturen i den norra hemisfären beräknas öka med mellan 1,4 °C och 5,8 °C från år 1990 till 2100. Skillnaderna baseras på vilket av de sex olika SRES scenarion man använder ( IPCC, 2001 ).

Forskarna inom detta område menar att en global uppvärmning kommer att ske till följd av den ökande koldioxidhalten i atmosfären. Efter ett möte 1997 i Kyoto ( Kyōto-shi ), Japan, enades forskare och vetenskapsmän om att minska växthusgasutsläppen från och med år 2008. Dokumentet länderna skrev under omfattar minskningen av sex olika kategorier av växthusgaser. Gaserna som ska minskas är: koldioxid, metan, dikväveoxid och de industriella gaserna fluorkolväte, perfluorokolväte samt svavelhexafluorid ( Miljöteknikdelegationen, 2001 ).

Att det tog så många år att underteckna avtalet var att vissa länder vägrade skriva på, bland andra USA och Australien. Kraven för att protokollet skulle träda i kraft var att minst 55 länder som tillsammans svarade för minst 55 % av växthusgasernas utsläpp skulle delta 1990, då Ryssland slutligen gick med på avtalet kunde det äntligen slutföras. Kyoto-protokollet trädde ikraft den 16e februari 2005, vilket innebär att de 55 industriländer som har undertecknat avtalet vid Förenta Nationernas ramkonvention

om klimatförändringar - United Nations Framework Convention on Climate Change ( UNFCCC ) har förbundet sig att minska sina utsläpp av växthusgaser med minst 8 % jämfört med 1990 års nivå. Denna växthusgasminskning ska avstämmas under perioden 2008 - 2012 ( Baumert, 2006 ).

Efter att ha studerat information om Kyotoprotokollet, de olika växthusgaserna, samt på vilket sätt utsläppen kan minskas, är det anmärkningsvärt att den viktiga faktorn om upptag och nedbrytning i terrestra ekosystem har blivit försummad. Denna viktiga fråga har blivit otillräckligt utvecklad och behandlad, istället har forskarna koncentrerat sig på utsläpp av koldioxid från industrier och transportmedel när de studerar växthusgasernas ökning och spridning i atmosfären.

## **1.1 Bakgrund till arbetet**

Allt sedan Kyotoprotokollets tillkännagivande har man fått mer och mer information om hur skog och växter lagrar kol i den växande biomassan samt marken, den så kallade koldioxidsänkan. I över 30 år har forskning pågått om den globala kolbalanscykeln, resultaten visar att koldioxidutsläppet är större än summan av kol ackumulerat i hav och atmosfär. Det fattas 2,9 miljarder ton för att balansera den globala kolbudgeten, detta är koldioxidsänkan ( [www.whrc.org](http://www.whrc.org) ). All skog tar inte upp lika mycket koldioxid, utan det varierar beroende av hur snabbt träden växer och i vilket utvecklingsstadium den befinner sig i. Ungefär 45 - 50 % av ett träd's totala torrsvikt utgörs av kol ( Schlesinger, 1997 ). Snabbväxande träd tar givetvis upp mer koldioxid, medan äldre träd växer långsamt och tar upp mindre koldioxid för uppbyggnad av biomassa ( Girardet, 2006 ).

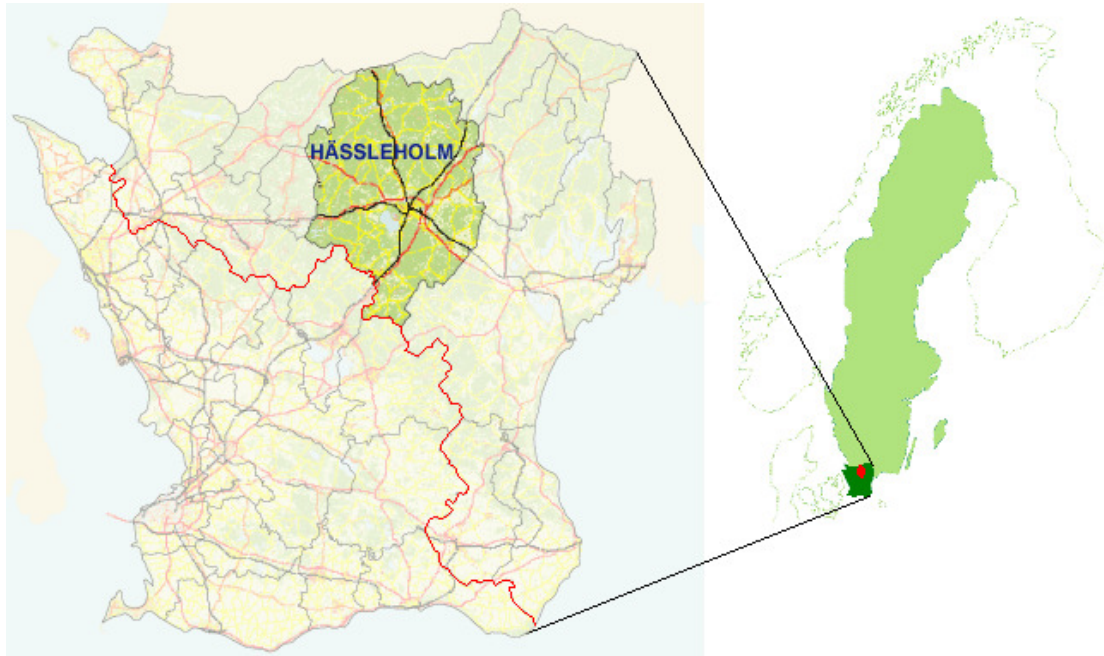
Sveriges skogar ingår i det norra barrskogsbältet, vilket är världens största sammanhängande skogsområde. Skogen sträcker sig runt hela planeten från ungefär polarområdena ner till 50:e breddgraden. Av all världens kol är ungefär 20 % bundet i växter och mark i norra barrskogsbältet, vilket motsvarar cirka 400 miljarder ton kol ( Forskning & Framsteg, 2005 ).

Även lokalt kommer protokollet att föra med sig positiva effekter för oss människor. Undertecknandet leder till att kommunerna kommer att ha en större vikt och förmodligen en mer ansvarfull roll i hur man ska hantera en minskning av utsläpp av växthusgaser i naturen. Detta är i dags dato fortfarande ett frivilligt projekt inom de olika kommunerna ( muntl. Olsson, 2005 ).

## **1.2 Områdesbeskrivning**

I Hässleholms ( figur 1 ) kommun bedrivs det ett projekt av Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemanalys ( INES ) där man mäter koldioxidbalansen på Fäjemyren utanför Hässleholm. I samband med detta projekt har kommunen visat intresse om mer information på kommunal nivå om hur den totala kolbalansen i barrskogarna kan komma att se ut i framtiden.

Hässleholms kommun ligger i nordöstra delen av Skåne i södra Sverige. Kommunens centralort, Hässleholm, är beläget på N 56.06 latitud och E 13.43 longitud. Staden ligger cirka 77 meter över havet, medan större delen av kommunen är belägen på högre höjder ( Lantmäteriet, 2003 ). Kommunen ingick fram till 1997 i Kristianstads län, vars gräns mot Malmöhus län i söder, är markerat med ett rött sträck. Länet bestod av 13 kommuner, och hade en area på 5257 km<sup>2</sup>.



( figur 1 ) Översiktskarta över Hässleholms kommun samt hur länsindelningen, Malmöhus- och Kristianstads län såg ut innan sammanslagningen till Skåne län 1997.

### 1.3 Syfte

Syftet med examensarbetet är att i första hand modellera dagens och det framtida kolinnehållet och kolbalansen i Hässleholms barrskogsområden. Undersökningen kommer att koncentrera sig på hur skogen förändras, till följd av den ökande koldioxidhalten i atmosfären samt medeltemperaturökningen. Hur simuleringarna samt skogsförändringarna kan vara till en framtida användning för kommunen diskuteras också.

Målet uppnås genom simuleringar av kolinnehåll och kolbalans i olika barrskogsbestånd med hjälp av två olika simuleringsprogram. Information och fakta om barrskogen, har skett med hjälp av data från riksskogstaxeringen. Uppgifter om koldioxidinnehållet och kolbalans, trädens tillväxt samt övrig information, har erhållits genom litteratursökning och kommunikation med personer från Sveriges lantbruksuniversitet, Skogforsk och Skogsstyrelsen.

## **1.4 Förväntade resultat**

Då vi kommer få ett varmare klimat med ökad koldioxidhalt förväntar man sig att barrträden kommer att reagera på förändringen. Barrskogen kommer sannolikt att ta upp mer kol, då fotosyntesaktiviteten kommer att öka då träden i och med kommer få en förlängd tillväxtperiod på grund av det varmare klimatet. Då det blir varmare, kommer marktemperaturen att öka, vilket ger en ökad nedbrytning av fröna och organismer i marken. Då träden kommer få en större möjlighet att kunna ta åt sig mer koldioxid, förväntar man sig att skogen kommer att växa på höjden. Ett annat tänkbart scenario är att barrträden kommer att emigrera norrut då de inte kommer att trivas i den förmodade värmen, vilket leder till att lövträden kommer att dominera landskapet om cirka 500 år.

## **1.5 Disposition**

Efter en kort introduktion till arbetes syfte samt förväntade resultat, följer bakgrundskapitlet där skogars kolbalans beskrivs och hur naturliga aspekter inverkar både kemiskt, fysiskt och biologiskt. Växthuseffekten och klimatförändringarnas eventuella inverknings presenteras. Sedan följer en kort information om gallring.

I kapitlet material och metod beskrivs all nödvändig fakta som behövs för att kunna göra simuleringen, vilka program som används och hur.

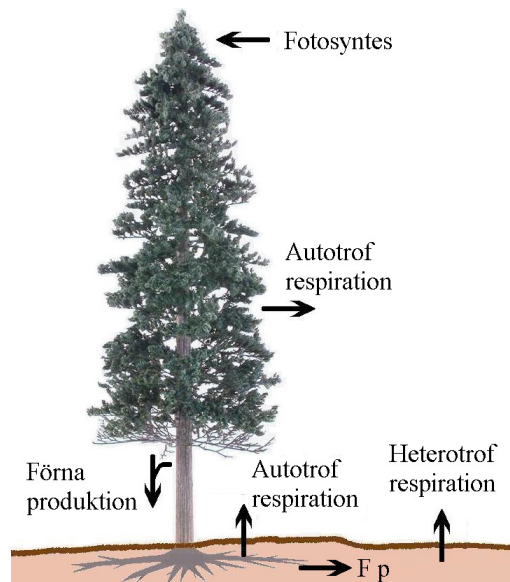
I det näst sista kapitlet presenteras resultaten av simuleringarna, sedan diskuteras resultaten i det sista kapitlet.

## 2. Bakgrund

### 2.1 Skogars kolbalans

Det är bekräftat att världens skogar är betydelsefulla för den globala kolbalansen. Förändringar i skogens kolupptag kan bidra med en viktig återkoppling till dagens ökande koldioxidhalt i atmosfären ( Malhi m.fl., 1999 ).

Det är viktigt att få en ökad kunskap om hur skogens kolbalans ( figur 2 ) kommer att påverkas och förändras vid en accelererande koldioxidhalt och ökad temperatur i framtiden. Skogens kolbalans kommer att bidra med hur stor skillnaderna blir i klimatförändringarna, om systemet kommer att spä på eller minska klimatförändringens effekter. Denna kunskap är viktig för att man ska kunna göra bättre framtida prognoser om hur skogen kommer att, påverkas av och påverka en ständigt stigande atmosfärisk koldioxidhalt. I Sverige är skogarna i allmänhet en sänka, det innebär att skogen tar upp mer kol än den avger ( Bergh m.fl., 2000, 15 ).



( figur 2 ) Principskiss över hur skogens kolbalans fungerar. Autotrof respiration från levande biomassa, heterotrof från mikroorganismer och slutligen koltillförsel till marken av döda växtdelar, kallad förnaproduktion (Fp).

Kolbalansens princip bygger på att skogen tar upp koldioxid från luften med hjälp av energi från solen genom fotosyntesen. Växternas kolbalans balanseras av döendet av barr, grenar samt rötter och delvis stam ( förnaproduktion ) samt den autotrofa respirationen ( växternas andning ). Heterotrof respiration ( markandning ) sker från marken genom mikroorganismer när de bryter ner kolet i marken.

Hur mycket kol det lagras i marken varierar beroende på vilken sorts mark det är, om det är sandig mark är kolinnehållet lågt, ungefär 1-2 %, men om det är våtmark innehåller marken upp till 20 % kol ( McVay, och Rice, 2002 ).

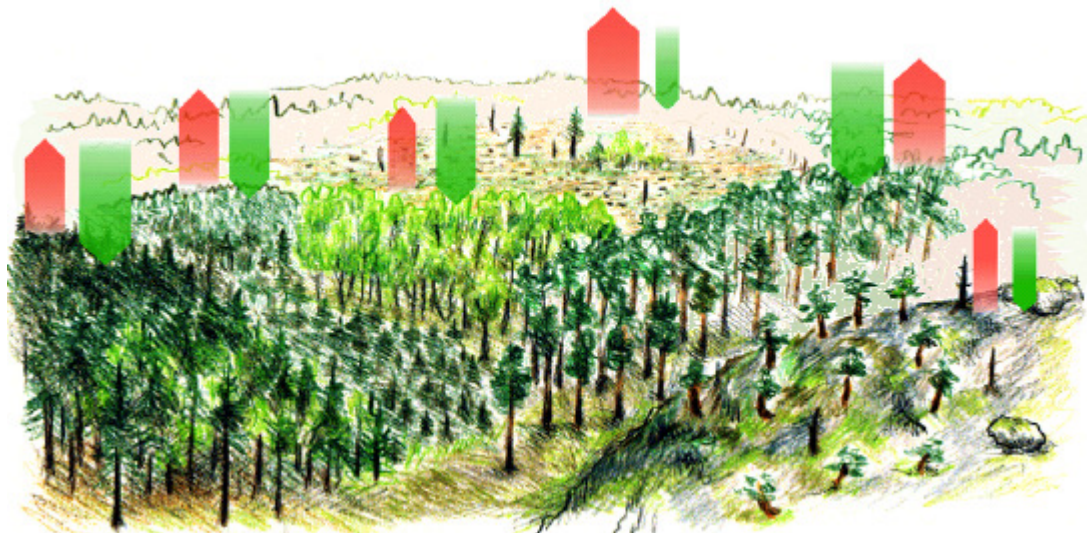
Koltillförseln till marken är beroende på hur stor förnaproduktionen är och vilken typ av skog det växer på marken. Temperaturen har också en inverkan på markrespirationen ( IBID ). Då det är tjäle i marken är avges det i stort sett ingen koldioxid.

Då rötterna andas ( autotrof respiration ), avges det kol, som sedan släpps ut i atmosfären. Ungefär 90 % av rotrespirationen sker i markens översta lager mellan 5 och 20 cm. Därefter avtar markens kolinnehåll markant ju djupare man kommer ( Nakane, m.fl., 1998 ). Marken innehåller ungefär 42 % av allt kol inom den globala kolcykeln ( Houghton och Woodwell, 1993 ).

Många olika faktorer bidrar till hur en skogs kolbalans förändras. Mätningar av kolutbytet med hjälp av virvelkorrelationsmätningar visade att kolbalansen i Europeiska skogar var linjärt relaterad till latitud ( Valentini m.fl., 2000 ).

Beräkningar på skogsbestånd görs ofta för en omloppstid på 60 - 110 år, men vissa beräkningar har fortgått under längre perioder. Nettokolupptaget, kan vara negativt vissa dagar, veckor, månader eller till och med år. Förändringar som styr är klimatet, gallringar, kalhuggningar, skogsbränder och stormfällningar.

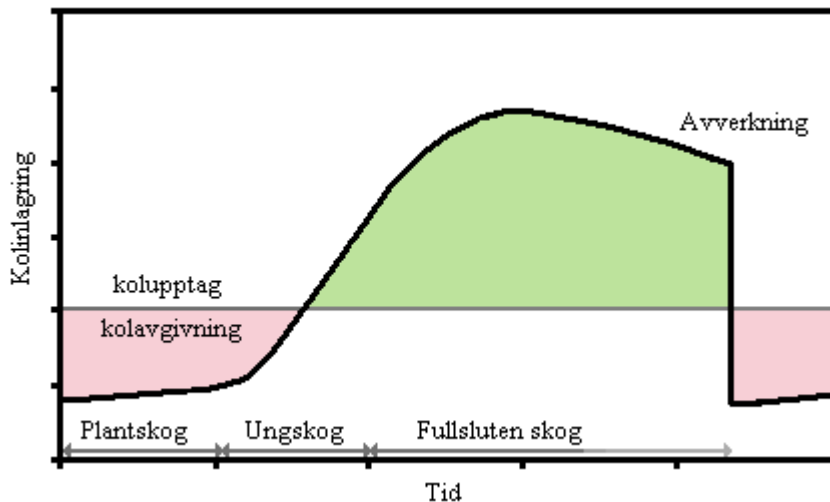
En avgörande betydelse för nettokolbalansen är olika faktorer såsom skogens ålder, hur skogen sköts samt vilken typ av skogsekosystem det är ( figur 3 ). Klimat och väder, som kan variera från timmar till månader, har den mest betydande inverkan. En annan viktig och väsentlig faktor är att i vilken utvecklingsfas skogen befinner sig i ( figur 4 ) ( IBID ).



( figur 3 ) Skiss över nettokolbalansen i olika skogar och marker ( Bergh m.fl., 2000, 15 ).



Nettoflödet är känsligt för klimat- och miljöförändringar då nettoflödet av kol är litet i förhållande till storleken av fotosyntes och respirationsprocesserna. Förändringar kan leda till att kolupptaget blir till en förlust ( Morén m.fl., 2000 ).



( figur 4 ) Schematisk bild över kolbalansen i en skog under hela sin livstid (Bergh m.fl., 2000, 15).

Figur 4 illustrerar skogens kolbalans under hela tillväxtstadiet, från nyplantage till slutavverkning. Under skogens första år fram till mitten på ungskogsstadiet har skogen en negativ nettobalans, detta beror på att det är hög markrespiration, som avger koldioxid och en låg fotosyntes ( Bergh m.fl., 2000, 15 ).

Då träden är unga och relativt små finns det inte tillräckligt med växtbiomassa för att skugga marken, vilket leder till en hög marktemperatur, som leder till en hög markrespiration ( IBID ).

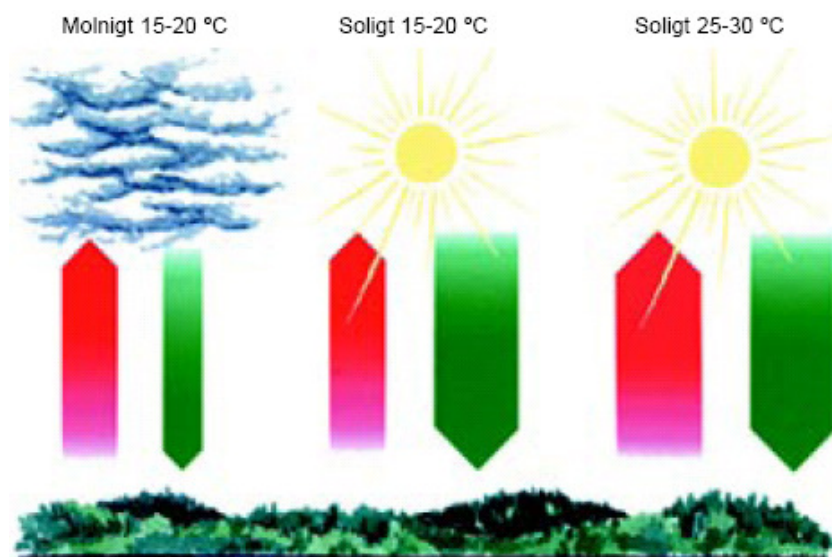
När beståndet blir äldre, ökar fotosyntesen och kolbindningen markant då träden blir större och får större bladyta att driva fotosyntes på, som i sin tur beskuggar marken. En lägre marktemperatur leder i sin tur till mindre markrespiration. Det är under denna tillväxtperiod som trädens kollagring är som störst, då träden har maximalt med växtbiomassaproduktion.

Då skogsbeståndet blir äldre avtar trädens produktion av biomassa, men kolupptaget är ändå positivt för de flesta bestånd. Under en omloppstid binder skogen stora mängder kol i biomassa och mark. Vid slutavverkning försvinner allt kol skogen har lagrat i form av stammar och eventuellt grenar och toppar, om inte dessa inte får ligga kvar efter slutavverkning ( IBID ).

## 2.2 Klimatets inverkan på nettokolbalansen

Det som styr kolbalansen är fotosyntes och respiration, där vädret och klimatet naturligtvis är en påverkande faktor som styr och reglerar kolflödet i skogen, då processerna påverkas olika beroende på väderleken. Fotosyntesen i skogarna under den svenska vintern är låg då den begränsas av låg solinstrålning, tjäle i marken och låga temperaturer ( Bergh m.fl., 2000, 15 ).

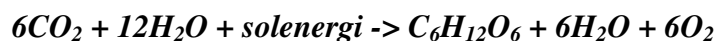
Det upptagna kolet lagras i växterna som växtbiomassa. Mätningar visar att flödet av koldioxid mellan marken och atmosfären varierar kraftigt från år till år ( IBID ). Vädrets variationer är en starkt bidragande orsak till hur mycket koldioxid som blir upptaget av träden en viss dag. Kolbalansen skiljer sig mycket mellan en varm dag eller solig säsong, eller en mulen och regnig ( figur 5 ). Variationer förekommer också under dagens lopp då en sval mulen förmiddag växlar över till en varm och solig eftermiddag ( IBID ).



( figur 5 ) Beskrivning av fotosyntesen ( grön pil ner ) och respirationen ( röd pil upp ) vid tre olika väderförhållanden ( Bergh m.fl., 2000, 15 ).

### 2.2.1 Fotosyntes

Fotosyntes är en fysiokemisk process där växterna, hjälpta av klorofyllet, utnyttjar solenergin för att driva den organiska sammanställningen. Processen omvandlar solljus till kemisk energi, som lagras som socker. Koldioxid, vatten och solljus behövs för att kunna producera socker och vatten, syre avges som en restprodukt. Den kemiska formeln lyder ( Singhal m.fl., 1999 ):



6 koldioxidmolekyler (  $6\text{CO}_2$  ) och 12 vattenmolekyler (  $12\text{H}_2\text{O}$  ) förbrukas i processen, medan socker (  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  ), 6 vattenmolekyler (  $6\text{H}_2\text{O}$  ) och 6 syremolekyler (  $6\text{O}_2$  ) blir producerade.

Eftersom fotosyntesprocessen kräver vatten, måste det tas upp och sedan transporteras till växternas fotosyntesfabrik där solenergin bidrar till omvandlingen ( Singhal m.fl., 1999 ). Det är dock en liten del av vattnet som används i fotosyntesen, det mesta försvinner i transpirationen genom klyvöppningarna. Koldioxiden tas upp genom bladens klyvöppningar, dock sker en mycket liten del, ungefär 2-3 procent, av fotosyntesen i trädens stammar ( Berveiller m.fl., 2006 ).

Även om fotosyntesprocessen verkar vara relativt enkel så är det i själva verket en mycket komplicerad process. Fysiska och kemiska reaktioner måste ske i en koordinerad följd för att fotosyntesen skall kunna ske ( IBID ). För att kunna producera en molekyl socker behöver växterna närmare 30 olika proteiner som samspelar inom cellernas komplicerade membranstruktur ( Singhal m.fl., 1999 ).

Klorofyll absorberar rött samt blått ljus, därför syns inte dessa färger. Det är istället det gröna ljuset som syns, vilket växterna inte absorberar. Detta gör att vi uppfattar växterna som gröna. Således är det rött och blått ljus växterna använder i fotosyntesprocessen och omvandlar till kemisk energi.

Den inkommande solenergin som växternas klorofyll absorberar för fotosyntes är strålningen i det synliga spektrumet, 400 – 700 nm, Photosynthetically Active Radiation, PAR, mäts i  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ( Giulio, 2002 ).

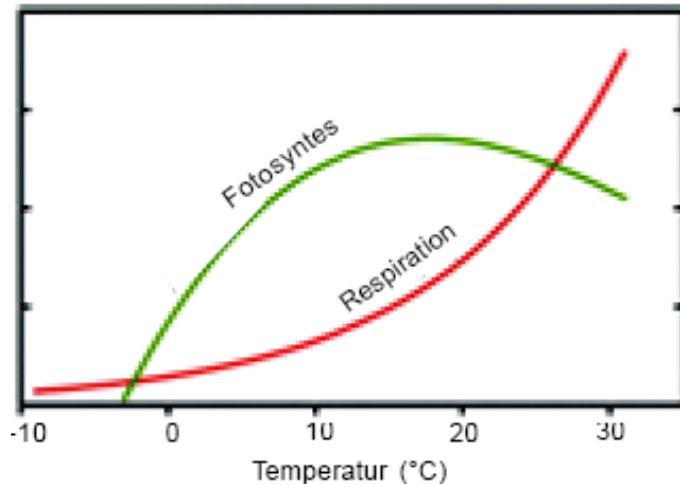
### **2.2.2 Respiration**

Respirationen är motsatsen till fotosyntesen, processen förbrukar syre och släpper ut koldioxid och vatten. Den kemiska formeln lyder:



Kolhydrater och syre bildar koldioxid och vatten som släpps ut i atmosfären samt energi.

Till skillnad från fotosyntesen så är respirationen oberoende av ljus och därmed pågår respiration dygnet runt året om. ( Schlesinger, 1997 ). Dock är respirationen mycket temperaturberoende och ökar exponentiellt med ökande temperatur ( figur 6 ).



( figur 6 ) Fotosyntesens och respirationens temperaturberoende ( Bergh m.fl., 2000, 15 ).

Respirationen äger rum från de levande växterna ( autotrof respiration ) samt markorganismer när de bryter ner organiskt material ( heterotrof respiration ). Diverse döda växtdelar såsom grenar, barr, bark, rötter och döda trädstammar samt markvegetation bidrar med ett tillskott av kol till marken. Under en ettårsperiod tar träden upp mer koldioxid genom atmosfären än vad de avger ( Bergh m.fl., 2000, 15 ).

### 2.2.3 NPP

Primär nettoproduktion ( NPP ) är bestämd som nettokolflödet från atmosfären till de gröna växterna per enhet tid. För växter i naturen blir ekvationen denna:

$$\begin{array}{rcccl} \textit{Primär bruttoproduktion} & - & \textit{Växtrespiration} & = & \textit{Primär nettoproduktion} \\ ( GPP ) & - & R_p & = & NPP \end{array}$$

Den primära nettoproduktionen kan inte direkt jämföras med växternas tillväxthastighet då delar av NPP går förlorad till döda barr och grenar, samt andra förluster som angrepp av hungriga herbivorer. NPP mäts i enheten  $\text{g m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ . Växtvävnad innehåller ungefär 45 - 50 % kol. Om ett träds torrbiomassa multipliceras med dess kolhalt får man fram hur mycket kolinnehåll trädet har ( Schlesinger, 1997 ).

## **2.3 Faktorer som påverkar processerna i kolbalansen**

### **2.3.1 Näring**

Fotosyntesens kapacitet är i direkt samband med bladens kväveinnehåll. Det är i bladens enzymer det mesta av kvävet finns lagrat ( Schlesinger, 1997 ).

Den fotosyntesiska potentialen hos många arter är direkt relaterat till innehållet av enzymet rubisco, Ribulosbifosfatkarboxylas-oxygenas. Enzymet rubisco påskyndar koldioxidbindningens viktigaste reaktion i fotosyntesen, där solenergi omvandlas till kemisk energi ( Nationalencyklopedin, 1994 ). När barrets näringsinnehåll ökar, minskar näringsanvändningseffektiviteten ( Schlesinger, 1997 ).

### **2.3.2 Nederbörd - H<sub>2</sub>O**

Nederbörd är en viktig faktor som påverkar skogens tillväxt och kolbalans. Hässleholms kommun får en årlig nederbörd på cirka 800 mm per år ( SMHI, 2005 ). En stor del av vattnet återgår till atmosfären genom klyvöppningarna. Fotosyntes relativt mot vattenförlust benämns som WUE – Water Use Efficiency, vattenanvändningseffektivitet ( Schlessinger, 1997 ). För de flesta växter är WUE 0.86 till 1.50 mmol/mol, och varierar främst beroende på vattentillgången och ångtrycksdeficitet.

Klyvöppningsmotståndet är en av faktorerna som bestämmer hur mycket fotosyntes som kan ske. Ljuset kontrollerar i första hand klyvöppningsmotståndet, en annan bidragande faktor är hur mycket vatten det finns tillgängligt, från rötterna upp till barren, samt koldioxidkoncentrationen i barret och den relativa fuktigheten i atmosfären. När klyvöppningarna öppnas släpper de in koldioxid, men frigör samtidigt syre och vatten ( IBID ).

### **2.3.3 Temperatur - °C**

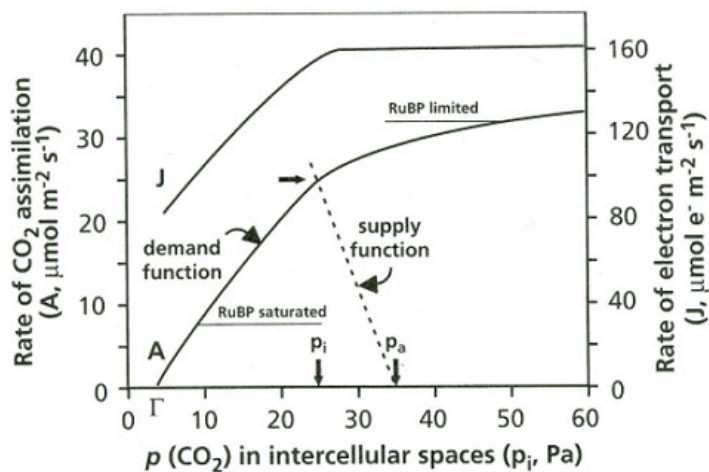
En stark styrande faktor till alla metaboliska processer är temperaturen. Växtenzymerna som påskyndar och styr den fotosyntesiska reaktionen är starkt temperaturberoende. Ett temperaturoptimum nås mellan 15 - 20 °C. Syrereaktionen av rubisco ökar mer än den kemiska reaktionen då temperaturen ökar. Detta leder till en ökad fotorespiration ( syre förbrukas ), vilket förklarar minskningen av netto-fotosyntesen vid högre temperaturer

### **2.3.4 Ljus - PAR**

Fotosyntesen sätter igång direkt då växten får solljus, ju mer irradians ( PAR ) desto snabbare blir fotosyntesen. Ljuskompensationspunkten är där assimilationen kompenserar för respirationen. Vid låg irradians är assimilationen ljusbegränsad och ökar linjärt med irradians. Vid hög irradians blir assimilationen begränsad av karboxylation och fotosyntesen blir ljusmättad ( IBID ).

### 2.3.5 Koldioxid - CO<sub>2</sub>

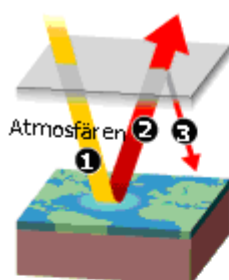
Träd och växter behöver kol för att kunna bygga upp växtvävnad och tar upp kolet i form av koldioxid från atmosfären. Behovet av koldioxid bestäms av hur snabbt processerna sker i kloroplasterna, vilket styrs av förhållandena i naturen ( moln, regn, temperatur ). Hur mycket koldioxid en växt tar upp bestäms av hur mycket koldioxid det finns i atmosfären och hur snabb fotosyntesens responshastighet blir. Figur 7 visar förhållandet mellan koldioxidassimilationen (A) som en funktion av intercellulärt koldioxidtryck ( p<sub>i</sub> ) ( IBID ).



( figur 7 ) Koldioxidens assimilation i förhållande till intercellulärt tryck av koldioxid ( Lambers m.fl., 1998 ).

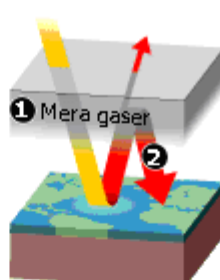
## 2.4 Växthuseffekten

När kortvågig strålning från solen når jordens yta reflekteras en del av den tillbaka ut i rymden. Resterande instrålning fångas upp av atmosfär, hav, mark och växtlighet. Därifrån återutsänds energin som långvågig värmeinstrålning. Atmosfären är inte lika genomskinlig för de långvågiga strålarna som för de kortvågiga ( figur 8 ) ( SMHI, 2005 ). En del värme hålls därför kvar, vilket leder till den naturliga växthuseffekten. Utan den skulle Jorden vara en iskall och livlös planet. Medeltemperaturen utan den ”naturliga växthuseffekten” skulle ligga på ungefär  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , men tack vare den naturliga växthuseffekten ligger den globala medeltemperaturen i dagsläget på  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( IBID ).



### Innan industrialiseringen

- 1 Inkommande solstrålning går genom atmosfären och når jordytan. På detta sätt värms atmosfären.
- 2 En del utav strålningen reflekteras tillbaka som värmeinstrålning
- 3 Det mesta utav värmeinstrålningen släpps åter ut i rymden av atmosfärens gaser. En del återreflekteras tillbaka till jorden.



### Växthuseffekten

- 1 Människan tillför olika växthusgaser i atmosfären, såsom koldioxid, dikväveoxid, metan samt freoner.
- 2 Växthusgaserna samlas upp i atmosfären, vilket leder till att en stor del utav värmeinstrålningen återreflekteras ner till jorden. Endast en liten del fortsätter ut i rymden. På detta sätt ökar temperaturen på jorden.

( figur 8 ) Principen med växthuseffekten ( Ahrens, 2000 ). Pilarnas storlek är inte skaleniga, utan överdrivna, så att man ska uppfatta skillnaden på värmeinstrålningens återreflektion från atmosfären.

Dock finns det skillnad på den ”naturliga växthuseffekten” och den förhöjda växthuseffekten orsakad av oss människor genom utsläpp av växthusgaser ( figur 8 ). Namnet fick effekten från att glaset i ett växthus bidrar till en högre temperatur. Detta åstadkoms genom att glaset reflekterar långvågig strålning samt förhindrar transport av vattenånga ( latent värme ). Sensibel värme från det stängda växthuset förhindras att återvända ut i atmosfären. Reflektionen av långvågig strålningen ner till marken

påverkas av växthusgaserna i jordens atmosfär ( IBID ). Koldioxid är en av de gaser som bildar det fenomen vi kallar växthuseffekten. Vattenånga och metan är andra gaser som bidrar.

Atmosfärens innehåll av koldioxid har ökat stadigt sedan mitten av 1750-talet. Till dagsläget ( 2006 ) har koncentration ökat med ungefär 36 % ( IPCC, 2001 ). Den förutspådda koldioxidkoncentrationen år 2100 beräknas, som nämnts, ligga på mellan 540 och 970 ppm.

Koldioxidutsläpp från människans användande av fossila bränslen gör att koldioxidhalten i atmosfären stiger vilket föranleder många att tro att detta ger en ökad klimatförändring och därmed ett annorlunda klimat. Den stora faran enligt dessa oroliga forskare och andra vetenskapsmän är att jordens medeltemperatur skall öka genom människans missbruk av naturen vilket kan leda till att polarområdenas isar smälter och att öknar breder ut sig ( IBID ). Idag är det bevisat att människan ansvarar för den globala uppvärmningen. Resultaten presenterades i IPCC:s Fourth Assessment Report ( AR4 ) som gavs ut i början av februari ( IPCC, 2007 ).

Ett stort antal rekonstruktioner av klimat- och miljöförhållanden under de senaste 2000 åren har utförts i områden med betydande mänsklig påverkan. Förändringar blir då ofta svåra att urskilja. Frågan är om de har orsakats av mänsklig aktivitet eller är det klimatrelaterade förlopp? För att öka kunskapen om klimatförändringarna i tid och rum samt för att förstå de bakomliggande orsakerna, krävs studier i områden med liten mänsklig påverkan. Exempel på områden där människan har haft lite inverkan på naturen är den Skandinaviska fjällkedjan, Svalbard, Sibirien och arktiska Kanada.

Många vetenskapsmän gör av ovan angivna skäl bedömningen att den ökade koldioxidhalten i atmosfären utgör ett allvarligt hot mot vårt klimat. Vid ett FN lett möte i Kyoto kom därför den största delen av världens länder överens om att försöka bromsa koldioxidutsläppen. Det som oroar världens ledare är att ett förändrat klimat på jorden kommer att vara ödesdigert för många människor och länder ( IPCC, 2001 ).

De flesta bedömningar, prognoser och scenarier som har presenterats för klimatförändringens och klimatets fortsatta utveckling sträcker sig hundra år framåt i tiden. Samtliga IPCC:s simuleringar av klimatförändringarna slutar år 2100. Det beror till stor del på att utsläppen av växthusgaser på ännu längre sikt, än så länge, är praktiskt taget omöjliga att uppskatta. Klimatdebattörer tar sällan upp vad som kan hända på längre sikt, trots att klimatstörningarna sannolikt fortsätter att förvärras bortom år 2100 ( IBID ).



## 2.5 Skoglig påverkan vid eventuella framtida klimatförändringar

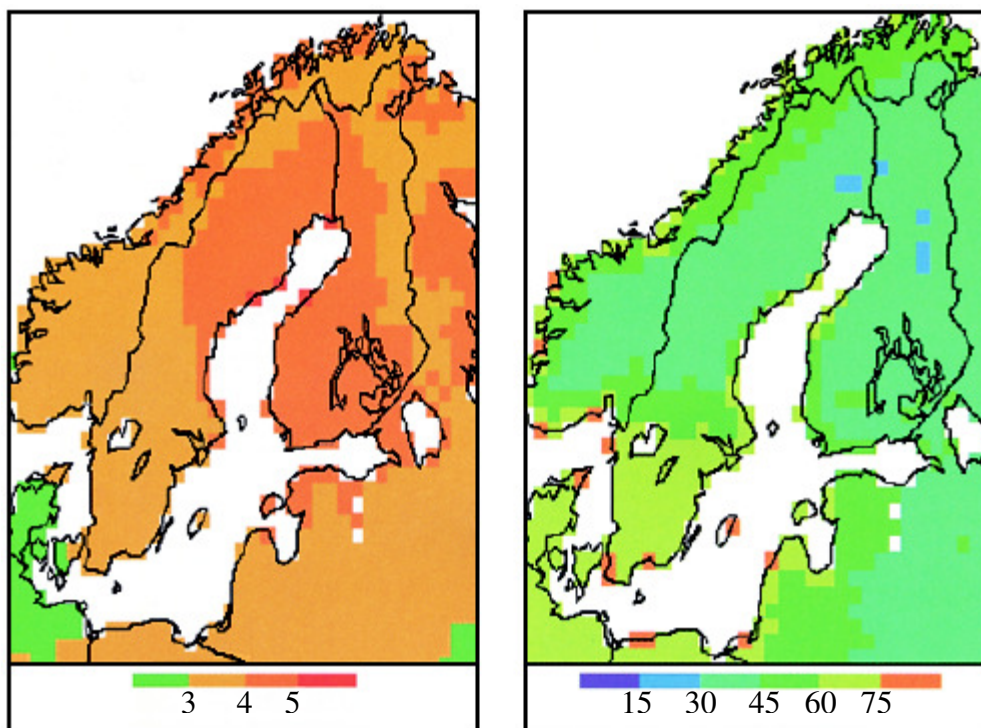
Efter att intensiva klimatkussioner ägt rum i Kyoto, Japan ( 1997 ) och i Den Haag, Nederländerna ( 2000 ) har allt fler argumenteringar dykt upp om skogsekosystemens roll som kolfixerare.

Länder med mycket skog, till exempel Sverige, där skogsarealen är 23.5 miljoner hektar, vilket är 53.2 % av den totala landarealen, tar upp mycket kol, och skogen spelar en central roll för den nationella kolbalansen ( Forsse, 2005 ). Den svenska skogen är en del av det nordliga barrskogsbältet, även kallat taigan, som spelar en viktig roll i den globala kolbalansen. Viktiga frågor man vill få svar på är hur de svenska skogarna kommer påverkas av det framtida klimatet med klimatförändringar, samt hur skogarna kommer att påverka klimatet. Skogens förmåga att binda koldioxid, lagra kol samt producera biomassa är oerhört viktigt i bedömningen om planetens framtid. Skogens förmåga som kolsänka kan leda till att klimatet kanske inte blir så som många framtida simuleringar visar.

Det är dock fortfarande osäkert hur och vilka effekter klimatförändringen kommer att ha på vissa områden och regioner. Därför startade SMHI 1997 ett forskningsprojekt kallat Swedish Regional Climate Modelling Programme ( SWECLIM ), som skulle göra detaljerade scenarier på Nordens klimat baserade på de globala modellerna ( Bergh m.fl., 2000, 13 ).

Enligt SWECLIM:s beräkningar kommer årsmedeltemperaturen om 100 år att ha ökat med 3° C i södra Sverige och med 4° C i norra delarna av landet. Temperaturhöjningen kommer att vara ännu högre under vinterhalvåret i hela Skandinavien ( figur 9 ). Detta i sin tur innebär en förlängd växtsäsong med ungefär 2 månader i de södra delarna av Sverige ( figur 9 ) ( IBID ).

För nederbörden kommer det att bli en ökning i norra Sverige, främst i fjällen. Däremot kommer nederbörden att vara nästintill densamma som idag i södra Sverige år 2100 ( Rummukainen, 2002 ).



( figur 9 ) Förväntad temperaturhöjning i ° C, samt beräknad ökning av växtsäsong, mätt i dagar ( Bergh m.fl., 2000, 13 ).

Tidigareläggning och förlängning av växtsäsongen leder till att fotosyntesprocesserna under en längre tid kan utnyttja solens instrålning, främst på våren då solinstrålningen är hög. Detta leder till att processen kan starta tidigare på våren och sluta senare på hösten. Man uppskattar att den relativa fotosyntesökningen kommer att ligga på mellan 9 - 12 % i söder och 15 - 18 % i norr ( Bergh m.fl., 2000, 13 ).

Samtidigt som fotosyntesen ökar kommer naturligtvis även respirationen att tillta, då denna process är temperaturberoende. Genom den ökade respirationen, kommer mer koldioxid att avges, då den levande biomassans funktioner kommer att öka. Ökningen i fotosyntes kommer dock troligen att vara större än respirationsökningen ( Lagergren, 2006 ).

Då våren anländer tidigare i framtiden kommer knoppsprickning och skottskjutning också att tidigareläggas, eftersom växterna påverkas av lufttemperaturen. Beräkningar visar att växtsäsongens början kommer att ske ungefär 2 veckor tidigare om omkring 100 år. Trots en tidigareläggning av vårens ankomst är risken för en ökning av frostsador försumbar ( Bergh m.fl., 2000, 13 ).

Dagens förhöjda koldioxidhalt är redan märkbar hos de levande växterna. Dock kan de inte tillförlitligt utnyttja denna ökning. Anledningen är att växterna endast kan binda en liten del atmosfärens koldioxidöverflöd eftersom andra faktorer som näring, ljus, vatten samt temperatur också begränsar ( Ahlgren, 2003 ).

Experiment på växter har dock visat att en stark ökning av fotosynteshastighet är att vänta vid en förhöjd koldioxidhalt i luften. Dock sker en anpassning så att efter några månader eller år, har fotosynteshastigheten återgått till det normala. Experiment på fullvuxna träd i norra Sverige, har visat en fotosyntesökning på 10 - 15 %, efter att träden utsatts för 700 ppm under flera år. ( Long m.fl., 2004 )

Då lufttemperaturen ökar, kommer givetvis marktemperaturen att göra detsamma. Detta kommer att leda till en ökad aktivitet av diverse biologiska organismer i marken. Vilket föranleder en snabbare nedbrytningshastighet av organiskt material. Detta ger i sin tur ger mer näring åt marken. Norrländska experiment visar på en 50 % ökning av stamproduktion där man värmdde upp marken 5 grader jämfört mot den naturliga temperaturen. På marker med lite näring kommer näringstillskottet att leda till en ökad produktion ( Ingemarson, 2004 ).

Om det visar sig att SWECLIM:s scenarier besannas, kommer trädens kolupptag att öka. Idag uppskattas det att de svenska skogarna årligen lagrar 7 miljoner ton kol. Skogsmarken lagrar 2 - 5 miljoner, baserat på tillväxt- och avverkningsnivåer. Försiktiga framtida beräkningar på trädens kolupptagningsförmåga visar att upptaget kommer att vara på ungefär 12 - 13 miljoner ton kol i ett framtida klimat. I dessa beräkningar har aspekter som en längre växtsäsong, ökad vattentillgång, tidigare skottskjutning och ökad respiration ingått ( Bergh m.fl., 2000, 13 ).

Den förutspådda klimatförändringen leder primärt till att klimatet blir varmare med längre växtsäsong. Frostskador på barrträden kommer att kunna lagas snabbare på våren. Träden kommer därigenom att kunna nå full kapacitet tidigare på säsongen i framtiden. Många positiva aspekter kommer med den globala uppvärmningen för de olika trädarterna. Dock kan effekterna bli begränsade då näringstillgången inte kommer att vara tillräcklig för att kunna upprätthålla den ökande fotosyntesen ( Ingemarson, 2004 ).

Förändringarna kan komma att leda till att vissa arters nu naturliga utbredningsområden kommer att förskjutas norrut samtidigt som nya arter av lövträd kan vandra in från söder, då vissa forskare menar att barrträden inte kommer att trivas i ett varmare klimat i södra Sverige ( Bergh m.fl., 2000, 13 ). Barrträden kan istället breda ut sig mer och i högre terräng runt fjällkedjan i norr, då en ökning av temperaturen är att vänta ( Björn m.fl., 2000 ).

## 2.6 Gallring

### 2.6.1 Varför behöver man gallra?

Gallring av skogsbestånd görs för att man ska kunna påverka skogsbeståndets utveckling, genom att man hugger ner mindre produktiva träd och andra träd som skogsägaren inte vill ha i sitt bestånd. Till exempel så gallrar man bort björkträd i ett granbestånd för att gynna barrträdens tillväxt. Fördelar med gallring är att man får högre kvalitet på skogsvirke. Utför man gallringen på rätt sätt så får man flera fördelar:

- \* Ökad produktion av sågtimmer
- \* Bättre ståndortsanpassning
- \* Förbättrad vitalitet
- \* Mindre självgallring
- \* Förstärkta natur- och kulturvärden
- \* Mindre skador
- \* Mindre konkurrens mellan träden
- \* Gödslingsverkan
- \* Gynnsammare markklimat

### 2.6.2 Hur hårt ska man gallra?

Faktorer som styr hur och när man ska gallra, är läge, skogstyp, ståndortsindex med mera. Andra faktorer som inverkar är:

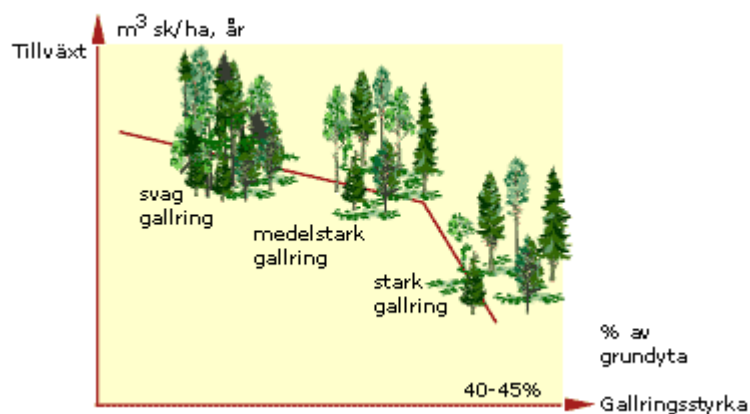
Satsas det på kvalitet?

Finns det risk för storm- snöbrott- eller köldskador?

Är beståndet glest eller tätt?

Hur är beståndet skött sen tidigare?

Därefter bestäms det hur hårt man ska gallra i skogsbeståndet ( figur 10 ).



( figur 10 ) Tillväxtens beroende av gallringsstyrkan ( [www.skogforsk.se](http://www.skogforsk.se) ).

### 2.6.3 När ska man gallra?

Varje gång gallring sker är det oftast optimalt att gallra bort ungefär 25 - 35 %. Gallras det bort mindre är det oekonomiskt, medan för mycket gallring kan leda till storm och snöskador på träden och tillväxtförluster som följd.

Det är olika tidpunkter för när första gallringen ska ske för olika skogsbestånd. Avgörande faktorer är markens bonitet ( naturliga virkesproduktionsförmåga ), vilket trädslag som odlas, antal stammar i beståndet samt trädslagsblandning. En ungefärlig riktlinje för tidpunkt för första gallringen är då de grövsta träden är ungefär 13 - 14 meter höga. Därefter måste ytterligare minst en gallring ske, med undantag för de allra sämsta markerna, innan slutavverkning. Dock ska den sista gallringen helst ske 20 - 40 år innan slutavverkning ( tabell 1 ) ( [www.skogforsk.se](http://www.skogforsk.se) ).

( Tabell 1 ) Tidpunkt för gallring vid olika bonitet.

<b>Tidpunkt för...</b>	<b>Låg bonitet</b>	<b>Medel bonitet</b>	<b>Hög bonitet</b>
Första gallring ca	50 år	40 år	25 år
Sista gallring senast	90 år	75 år	65 år
Slutavverkning	120 år	100 år	80 år
Antal gallringar	1-2	2-3	3-4+

### 2.6.4 Hur påverkas skogen?

Naturligtvis påverkas och förändras en gallrad skog jämfört med en ogallrad; bland annat tillväxt och stamform förändras på träden. Gallringarna ger en ökad gödning till marken i form av barr och grenar. Den tillfälliga produktionsminskningen beror i första hand på att träden blir färre och inte fullt kan utnyttja allt ljus och all näring. Skogens förmåga att ersätta den bortgallrade produktiviteten tar mellan 2 - 3 år på bördiga marker, men upp till 8 år på mindre produktiva områden ( IBID ).

### 2.6.5 Om ingen gallring sker?

Bestämmer man sig för att inte gallra, kommer man få klenare träd där vissa kommer att självdö. Beståndet kommer ha mindre motståndskraft mot skador och sämre tillväxt. Dåliga träd kommer att förhindra optimal tillväxt för träd med bättre kvalitet. Beståndet kommer att vara igenvuxet på några tiotal år och därmed blir det sämre kvalitet på träden vilket leder till sämre timmerproduktion ( figur 11 ) ( IBID ).



( figur 11 ) Skillnad på ett gallrat ( t.v. ) och ogallrat ( t.h. ) skogsbestånd  
( [www.skogforsk.se](http://www.skogforsk.se) ).

## **3. Material och metod**

### **3.1 Riksskogstaxeringen**

Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik utför sedan 1923 en landsomfattande stickprovsinventering av landets skogar, den så kallade riksskogstaxeringen. Metoden är inriktad på skogarna och deras utveckling.

Taxeringen genomförs med hjälp av stickprovsteknik i form av trakter där varje trakt utgörs av tillfälliga eller permanenta provytor. En provyta är ett utvalt cirkulärt område med radien varierande mellan 7 - 10 meter. De placeras ut slumpmässigt över Sverige och berörs inte av landskapets utformning, vägar, vatten med mera. Sedan 1996 lokaliseras dessa med hjälp av GPS ( [www-riksskogstaxeringen.slu.se](http://www-riksskogstaxeringen.slu.se) ). Storleken på en trakt är framställd så att ett taxeringslag skall kunna inventera området på en arbetsdag. En permanent trakt består av 12 provytor och återinventeras vart 10:e år. En tillfällig trakt av 8 provytor och besöks en gång ( [www.skogsstyrelsen.se](http://www.skogsstyrelsen.se) ).

Denna stickprovsteknik medför att uppgifterna är förknippade med stickprovsvfel, samt andra slumpmässiga småfel. Syftet med den årliga stickprovsinventeringen är främst att ge relevant underlag till hur skogen skall skötas samt ge underlag för hur skogsnäringen och den skogliga forskningen bör utvecklas ( IBID ).

Med åren har metoderna förändrats och innehållet utökats till att omfatta mer än det rent skogliga. På så sätt har inventeringen av de ägoslag som kan omföras till skogsmark utökats, och innehållet i övrigt blivit mer omfattande. Denna utveckling kommer med stor sannolikhet att ytterligare stärkas i framtiden ( IBID ).

### **3.2 Undersökningsområdet**

Då 1998 års riksskogsdata endast behandlar hela Kristianstads län använde jag det området för tillväxtsimulering av skogarna istället för Hässleholms kommun. En uppdaterad taxering från 2002 fanns tillgänglig hos riksskogstaxeringen, dock ansågs det för dyrt av institutionen att köpa den.

Dåvarande Kristianstads län delade i princip Skåne diagonalt, från Ängelholm i nordväst till Simrishamn i sydost ( figur 1 ). Skåne län bildades 1997 då Kristianstads län och Malmöhus län slogs samman till ett gemensamt län ( Jonhäll, 2004 ). Det finns många olika typer av skogsbiom i Hässleholms kommun. De dominerande trädslagen är gran och tall. Dessa två arter av barrträd täcker 63 % av Hässleholms sammanlagda skogsareal på 74018 hektar ( muntl. Hermansson, 2006 ). Hässleholms kommun upptar ungefär 28,3 % av Kristianstads läns skogsareal och riksskogstaxeringens data från hela länet antogs därför vara representativ även för kommunen.

### **3.3 Val av skogsbestånd**

För att få fram information om skogens tillväxt, kolinnehåll samt kolbalans, används data om ståndortsindex. Ståndortsindex anger den höjd ett skogsbestånds grövsta träd når vid 100 års totalålder och är starkt relaterat till skogens bonitet ( produktionsförmåga ). Ståndortsindexet anges i meter ( Gallringsmallar, 1999 ).

Skogsfakta för Kristianstads län togs fram med hjälp av riksskogsgata, som erhöles av riksskogstaxeringen, dessa innehåller många olika parametrar som taxeringstid, skogstyp, länskod, höjd, marktyp, beståndsålder, bonitet, ståndortsindex, skogstyp med mera i tabellform.

Karakteristiska klasser valdes utifrån en artdominans på > 70 % för både tall och gran. Då ett givet område inom ett skogsbestånd har en artdominans som är lika med, eller över 70 %, så klassas det området som dominerat av den arten ( [www.skogsstyrelsen.se](http://www.skogsstyrelsen.se) ). Enligt oskarp logik så måste kriterierna för en viss medlemsfunktion, en gradvis övergång, uppfylla 70 % av en bestämd klass för att området ska kunna kallas för den dominerande klassen, i detta faller gran- eller tallskog ( Arnberg m.fl., 2001 ).

För gran och tall valdes ståndortindexen 30, 32 samt 34 meter till att representera granskogen. Detta på grund av att dessa klasser täcker störst markareal. För tall valdes ståndortsindex 14 respektive 28 meter, då andra klasser växte på en alldeles för liten areal ( Riksskogstaxeringen, 1998 ).

### **3.4 Beräkning av skogsbestånd i Kristianstads län**

Informationen från riksskogstaxeringen behövde först anpassas innan användning av uppgifterna var möjligt, vilket gick till på följande sätt:

Först gjordes en beräkning på hur många kvadratmeter skog som täcker länet. Beräkningar fick göras utifrån riksskogstaxeringens provyteberäkningar.

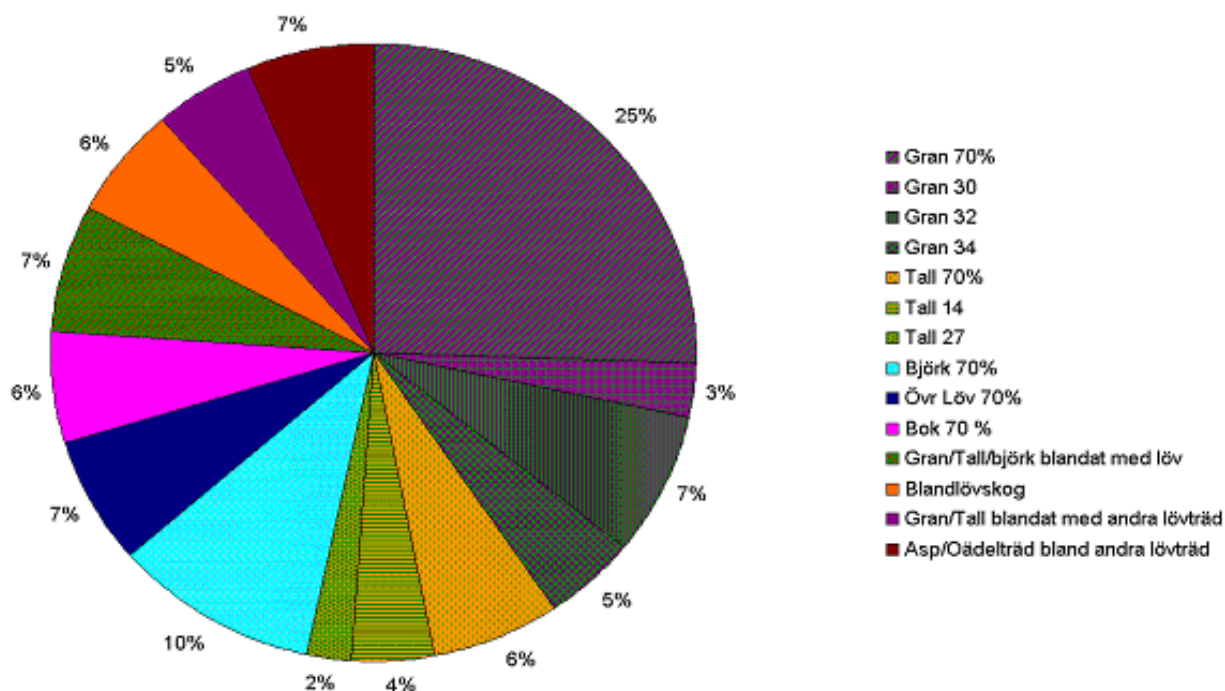
Då riksskogstaxeringen utfördes 1998 fanns det 351090 ha skog i hela Skånes landskap, av detta fanns 74,2 % i Kristianstads län. Sammanlagt växer de båda barrskogsklasserna med > 70 % artdominans, på totalt 139010 ha. Detta motsvarar 53,3 % av den totala skogsmarken i Kristianstads län som är på 260640 ha. Andra skogstyper i området är olika arter av lövträd såsom bok, björk, asp, ek samt övrig lövskog. Resterande skogsmark i undersökningsområdet är blandskog med varierande inslag av gran, tall samt olika arter av lövträd.

De tre framsimulerade granskogsklasserna täcker 14.9 % av Kristianstads läns skogar. Totalt sett för granskog med > 70 % artdominans så täcker de en areal på 105622 ha, vilket motsvarar 40.5 % av den totala skogsarealen.



Tallbestånden med ett ståndortindex på 14 respektive 28 sträcker ut sig på en yta av 6.3 % av den totala tallskogsmarken. För samtliga tallbestånd med över 70 % artdominans så fanns det 33388 ha, eller 12,8 %.

En grov indelning visar att det fanns 41 % granskog och 13 % tallskog. Blandskog och lövskog svarade för resterande 46 %. Detaljerad fördelning över skogen i Kristianstads län kan ses i figur 12.



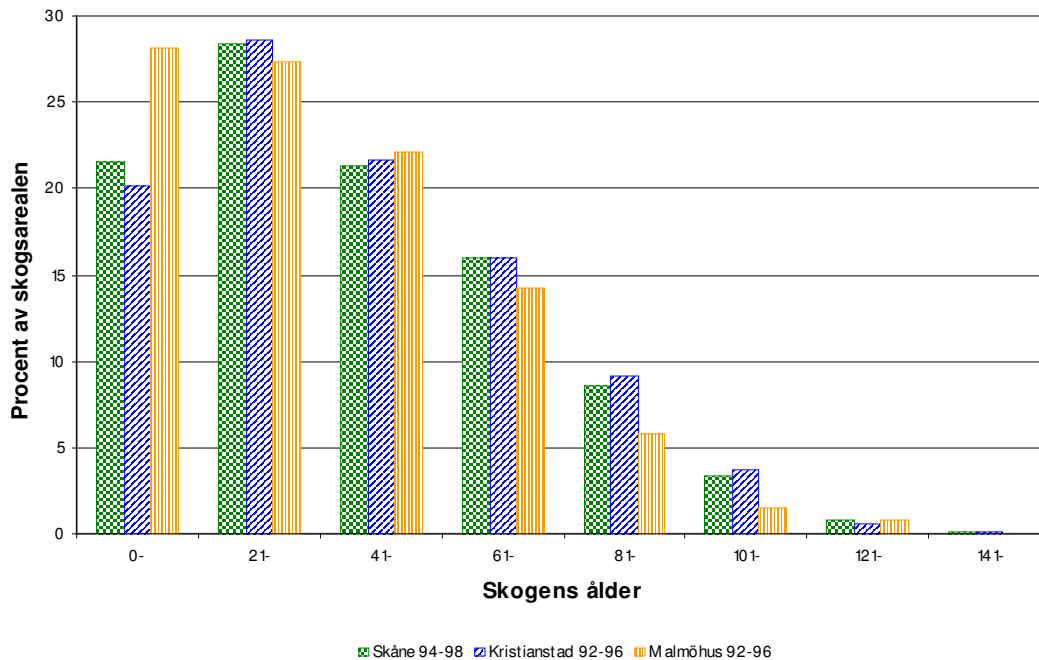
( figur 12 ) Fördelning av skogsbiom i Kristianstads län år 1998 ( Riksskogstaxeringen, 1998 ).

### 3.4.1 Åldersfördelning av skogen

I riksskogstaxeringens databas är alla uppgifter om Sveriges skogar sammanställt i tidsperioder om fyra år. De data jag använde mig av var från taxeringsåret 1998, där Skåne fortfarande var uppdelat mellan länen Malmöhus och Kristianstad. För åldersfördelningen vad det mer praktiskt att använda sig av uppgifterna som riksskogstaxeringen har på sin hemsida ( [www-riksskogstaxeringen.slu.se](http://www-riksskogstaxeringen.slu.se) ) där en sammanställning efter åldersklasser finns tillgänglig ( figur 13 ).

Till och med tidsperiod 1992 - 1996 användes Malmöhus- och Kristianstads län i åldersmätningarna av skogen. Skånes län, började användas i mätningarna som följde, 1993 - 1997. Av denna anledning användes uppgifter om Skåne 1994 - 1998, som i detta fall får representera åldersfördelningen av de simulerade skogarna, och länsfördelningen ( 1992 - 1996 ) visar eventuella skillnader mellan länen. Skogsarealen har varit oförändrad under dessa perioder.

### Åldersfördelning av skogen



( figur 13 ) Histogram över skogens åldersfördelning över Skåne, Malmöhus- och Kristianstads län ( [www-rikskogstaxeringen.slu.se](http://www-rikskogstaxeringen.slu.se) ).

I figur 13 kan vi se hur åldersklasserna i den Skånska skogen mellan åren 94 till 98 samt för länen ( 92 - 96 ) är fördelade i 20 års perioder. Helt klart dominerar skogsbestånden i Skåne som är mellan 21 och 40 år med 28,4 %. Därefter kommer ungskog skog ( 0 – 20 år) med 21,5 %. Åldersklasserna mellan 41 – 60 upptar 21,3 % av arealen. Sammanlagt för dessa tre dominerande åldersgrupper mellan 0 - 60 år innehar de 71,2 % av Skånes skogsareal 1994 - 1998. Totalmedelålder för hela Kristianstads läns barrskog var 46,2 år.

Från nyplanterade tills träden blivit 20 år gamla upptar de 28,2 % av Malmöhus läns skogsareal. Medan för Kristianstad gäller endast 20,1 % ny samt ungskog. Gammal skog, 120 år eller äldre representerad endast 0,8 % av arealen, då de flesta av dessa skogar antagligen har avverkats eller skadats av naturens krafter.

### 3.5 Val av simuleringsprogram och beräkningar

Olika modeller finns för att kunna räkna ut kolinnehållet och kolbalansen i skogen. Efter överenskommelse med handledaren valdes dessa två simuleringsmodeller: ProdMod och CO2 FIX. ProdMod är ett simuleringsprogram där man beräknar volymtillväxten över en omloppstid med 5 års intervaller. Simuleringen redovisar volym, medelstam, stamantal, tillväxt och även biomassan för olika beståndsdelar. Skogens tillväxt simulerades i ProdMod från de beståndsvariabler man valt ( tabell 2 ) för en omloppstid, där ståndortsindex, art och stamantal är viktigast. Därefter beräknades tillväxten relativt stamtillväxten för de olika biomassaparametrarna. Dessa värden användes sedan i CO2 FIX för att utifrån volymtillväxten i stammen, beräkna tillväxt och kolförråd i de olika komponenterna.

Figur 14 visar flödesschemat för hur modelleringen gick till. Siffrorna efter varje underrubrik nedan representerar händelseförloppet i flödesschemat.

#### 3.5.1 ProdMod, 1

Simuleringsprogrammet ProdMod 2, framtofs vid institutionen för sydsvensk skogsforskning av Ekö, 1999. Programmet utvecklades genom ett samarbete mellan SLU och SkogForsk.

Med hjälp av ProdMod 2 ( Ekö, 1999 ) kan man simulera hur ett bestånd kommer att utvecklas, samt testa olika skötselmetoder på beståndet. Tillväxtsimuleringen sker i femårsintervall. I tillväxtsimuleringen sker beräkningarna och resultatredovisningen i tabellform. Uppgifter som presenteras är grundytetillväxt, volym, medelstam, stamantal, volymtillväxt, biomassainnehåll för olika beståndsdelar på trädet, höjd, med mera vid varje tidsintervall.

För att dessa ovan nämnda beräkningar på trädens biomassainnehåll, använde programtillverkarna Ekös produktionsmodell för södra Sverige ( 1985 ). Marklunds ( 1988 ) biomassafunktioner för gran och tall användes också i programmet. Modellerna som Ekö använder utgår från den momentana tillväxten,  $i(t)$ , som kan skrivas som:

$$I(t)=f(X_1,\dots,X_n)$$

I denna ekvation är  $X_{i-n}$  vektorer av tillväxtfunktioner enligt indelningen som varierar beroende på åldern (  $t$  ). Förutom ståndortsindexvärde, baserar sig indelningen på två andra modeller. Dessa två modeller är egenskaperna hos ett enskilt träd i Jonssons modell ( 1980 ), samt beståndets biomassa i Hägglunds modell ( 1979 ). De mest betydelsefulla komponenterna i modellen är tillväxtkurvorna för olika ståndortsindex som beskriver beståndets tillväxtkapacitet ( Ekö, 1985 ).

Marklund använder olika funktioner för att beräkna biomassan för olika delar av träden såsom stam, grenar, barr och rötter, dock behandlas inte finrötter, baserat på främst diameter och höjd för enskilda träd ( Marklund, 1988 ). Simulerings-

programmet Prod Mod användes för att simulera fram tillväxten i varje 5-års intervall för beståndet. Samtliga delmodeller och funktioner i ProdMod bygger på empiriska samband funna i inventeringar och skogliga försök. Det finns inga valmöjligheter i programmet för att kunna simulera fram ett skogsbestånd i ett annat klimatscenario. Nedan följer tillvägagångssättet som fick upprepas för varje givet ståndortsindexvärde.

### 3.5.2 Simulering av skogsbestånd, 2

Först ställs geografiskt läge samt altitud över simuleringsområdet in för undersökningsområdet ( latitud 56.1 grader och altitud på 110 meter över havet, 62,343 N, 13,797 O i Rikets nät, RT 90 ). Under bestandsvariabler finns valmöjligheter för gallringshistorik, markfuktighet samt skogstyp ( tabell 2 ). För dessa tre bestandsvariabler finns det tre olika alternativ för var och en. Valmöjligheterna under gallringshistorik är ogallrad, gallrad för mer än 5 år sedan, samt gallrad i sista femårsperioden. Då tillväxten skall simuleras, genomfördes det utan gallring. Ogallrad skog valdes för att undvika en dubblering av gallringen eftersom gallring skulle simuleras vid ett senare tillfälle i CO2 FIX.

Under markfuktighet hade man valmöjligheterna torr, våt och frisk. Då undersökningsområdet är stort och varierande användes frisk skog. Den sista bestandsvariabeln, skogstyp, hade följande valmöjligheter, ört/gräs, blåbär/lingon och slutligen övriga. Det sista alternativet valdes som skogstyp för samtliga simulerade ståndorter utom för tall med ståndortsindex 14 där ”blåbär/lingon” valdes.

( tabell 2 ) Startvärden i ProdMod ( figur 14, 2 ).

Beståndstyp	Gran 30	Gran 32	Gran 34	Tall 14	Tall 28
Grundyta (m <sup>2</sup> /ha)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Stamantal (st)	2500	2750	2950	1100	2350
Ålder brh	10	10	10	10	10
Ståndortsindex (dm)	300	320	340	140	280
Gallringshistorik	ogallrat	ogallrat	ogallrat	ogallrat	ogallrat
Markfukt	frisk	frisk	frisk	frisk	frisk
Skogstyp	övriga	övriga	övriga	blåbär/lingon	övriga

För enskild art så skall grundytan ( m<sup>2</sup>/ha ) vara 0.5. Väljer man däremot fler arter under samma simulering får inte den totala grundytan överstiga 0.5. Efter det kommer inställningarna för antal stammar/ha. Stamantalet varierar beroende på vilket ståndortsindex man väljer på beståndet ( Gallringsmallar, 1999 ). På bördigare marker planteras träden tätare. Trädens ålder i brösthöjd, som är 1.3 meter ovanför marken, sattes till 10 år. Varje enskilt bestånd simulerades fram till slutavverkningsåldern ( tabell 2 ).

### 3.5.3 Beräkning av relativ tillväxt av biomassa för gran och tall, 3

Därefter beräknades den relativa biomassatillväxten för stam, barr, granar och rötter i förhållande till den årliga stamtillväxten, Current Annual Increment ( CAI ), vilket senare användes i CO2 FIX. För att kunna göra beräkningarna för biomassatillväxten

relativt stamtillväxten användes informationen om stamtillväxten. Dessa relativa tillväxter är ett mått på hur trädet fördelar tillväxten, så kallad allokering.

#### 3.5.4 Barr, 4

Beräkningen av barr gjordes genom att man tog det aktuella årets barrbiomassa ( ton/ha ). Därefter dividerades det med livslängden för barren som antogs vara 7 år för gran och 3,5 år för tall ( muntl. Lagergren, 2006 ). Resultatet som man fick fram dividerades med löpande tillväxt (  $m^3/\text{år}$  ) som multiplicerades med veddensiteten ( 0,4  $\text{ton}/m^3$  ). Detta illustreras här med formeln:

Eq A:

$$\text{Relativ tillväxt barr} = \text{barrmassa} / ( \text{livslängd barr} * \text{löpande volymtillväxt} * \text{veddensitet} )$$

Nu har man fått fram den relativa tillväxten för barr som därefter matas in i CO2 FIX.

#### 3.5.5 Grenar, 5

För grenarna gäller en annan metod än för barr. Här subtraheras årets värde ( ton/ha ) med föregående års värde multiplicerat med 1-5/livslängd ( 0,95 ) då grangrenar antogs en livslängd på 100 år och modellen har ett 5-årigt tidssteg ( muntl. Lagergren, 2006 ). Tillväxten är nu beräknad, och samma procedur upprepas för döda grenar. Sedan adderas levande med döda grenar. Därefter divideras resultatet med 5 år för att få fram den årliga tillväxten, varpå det divideras med årlig löpande volymtillväxt multiplicerat med veddensiteten ( 0,4 ).

Eq B:

$$\text{Relativ tillväxt grenar} = ( ( \text{Aktuell levande grenar} - ( \text{levande grenar fem år tidigare} * ( 1-5/\text{livslängd} ) + \text{aktuell döda grenar} ) ) - ( \text{döda grenar fem år tidigare} * ( 1-5/\text{livslängd} ) ) ) / 5 / ( \text{löpande volymtillväxt} * \text{veddensiteten} )$$

För tall användes samma formel men med ett värde på 0,90 eftersom livslängden för tallgrenar antogs vara 50 år.

#### 3.5.6 Rötter, 6

För rötterna gäller samma beräkning för både tall och gran, man dividerar rötternas biomassa med summan av biomassan för stam och bark. Detta förfarande baseras på att man antar att dessa förråd har samma livslängd. Relativ rottillväxt beräknas:

Eq C:

$$\text{Relativ tillväxt rötter} = \text{biomassa rötter} / ( \text{biomassa stam} + \text{biomassa bark} )$$

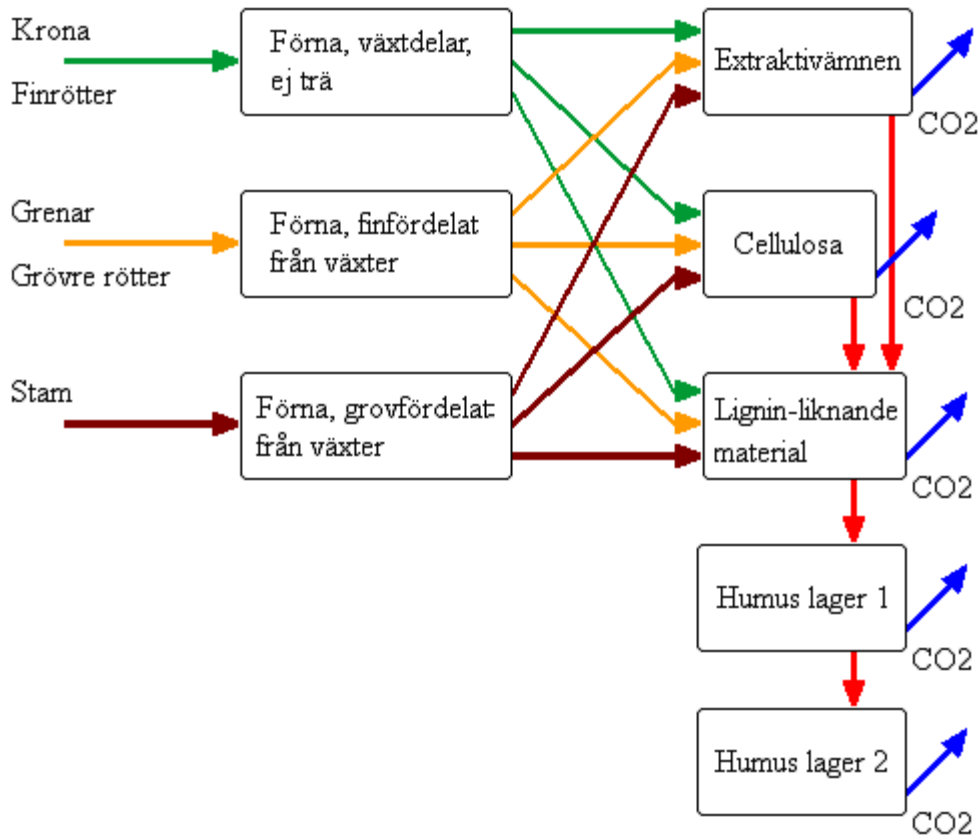
### 3.6 CO2 FIX, 7

Det andra simuleringsprogrammet, CO2 FIX, såg dagens ljus 2003 i CASFOR-II projektet. Programmet används för modellering av kolbalansen i skogliga landskap. Professor Mohren, med flera ingår i CASFOR II arbetslaget, vilket är baserat i Nederländerna ( CO2 FIX v 3.1.0 ). Tillväxt och biomassa baseras på indata i form av stamtillväxt och allokeringssdata. Markens kolbalans baseras på förnafall och nedbrytningsprocesser i marken.

För att kunna göra en simulering behöver kolbalansmodellen för skog, CO2 FIX ( Mohren, 2003 ) uppgifter om stammarnas volymtillväxt samt den relativa tillväxten i förhållande till stamtillväxten för stam, barr, grenar, rötter. Gallrings och slutavverkningsuppgifter måste också anges. För att kunna slutföra simuleringen, behövs det information om nedbrytningshastighet av förna i marken, när det är tillväxtsång samt medelnederbörd under tillväxtsången. Även kolinnehållet i de olika kolförråden i marken måste anges. Resultatet av hur kolinnehållet är i det simulerade beståndet presenteras både i grafform och i tabellform. Modellen framställdes för att man ska kunna uppskatta hur olika skogars kolflöden förändras vid olika störningar, såsom gallring, biomassa uttag, slutavverkning samt, naturliga variationer såsom temperaturförändringar.

Tyvärr är dock modellen svår att verifiera mot verkligheten då modellen mäter i tidsetapper om ett år. Detta innebär att man behöver en lång mätserie under flera år innan man kan få tillräckligt med uppgifter för att kunna göra jämförelser mellan simulering och verklighet ( CO2 FIX, 2004 ). CO2 FIX baserar trädens tillväxt på information från tillväxt- och allokeringstabeller ( relativa tillväxtdata ), vilket gör det lättanvändligt för många olika skogstyper, såsom barr- och lövträd ( IBID ). Biomassaberäkningarna baseras sig på en ”kluster-modell” där varje kluster antas vara olika individer eller olika trädarter, vilket antas att tillväxten hos de simulerade träden inom ett kluster kommer ske lika snabbt under en omloppstid.

Markkolet och dess processer beräknas i modellen enligt flödesschemat i figur 14, ( där modellen endast beräknar nedbrytning och markdynamik hos väl-dränerade marker. Marker med dålig dränering minskar inte nedbrytningshastigheten ). Nedbrytningen i marken är enkel fysiologisk modell som styrs av årsmedeltemperaturen och nedbrytningsparametrar för de olika förråden. Simuleringsprogrammet är kalibrerat så att det endast beräknar total nedbrytning av kol i marken, den tar inte hänsyn till olika jordlager ( figur 14 ). De första tre modulerna är olika förna-förråd, medan de fem sista är olika nedbrytningsstadier i marken. Slutligen lägger man till gallrings och slutavverkningsdata till simuleringen. Resultatet presenteras både i grafform och också i tabellform ( IBID ).



( figur 14 ) Flödesschema över markkolet, där boxarna representerar olika sektioner som innehåller kol, medan pilarna visar kolflödet ( CO2 FIX 3.1 ).

### 3.6.1 Biomassvariabler, 8

Informationen om barrträdens ålder, tillväxt, höjd, och andra dimensioner finns i tabellform och är tagna från Communicationes Instituti Forestalis Fenniae, den finska skogsforskningsanstalten från 1960. Relativ tillväxt beräknad från ProdMod på träden jämfördes mot de Finska tabellerna för att se om resultatet var rimligt. Hur skogen har varit brukad och gallrad fanns det information om i Finnish Statistical Yearbook of Forestry från år 2001.

Anledningen till att det har varit svårt att ta reda på information om kolfördelningen i träden, är att forskandet kring detta samt hur koluttaget i finrotsystemet fungerar, tyvärr har blivit försummad och bortglömd. Istället har intressantare forskning kring fotosyntes, respiration och lövtillväxt prioriterats. Då man vet så lite om kolallokeringen, begränsas självklart möjligheterna att kunna modellera skogen ( Sverdrup och Stjernquist, 2002, Cannell och Dewar, 1994 ).

CO2 FIX är uppbyggt med hjälp av ett fliksystem, där varje enskild flik har olika attribut att välja bland. Först gör man generella inställningar för simuleringslängd, maximum biomassa i beståndet och anger även att tillväxten ska vara en funktion av åldern. Simuleringslängden beror på vilken art man simulerar och vilket

ståndortsindex skogen har. De uppgifter som användes angående biomassans årliga omsättningshastighet samt tillväxtfaktorer är baserade på forskning från södra Finland ( Koivisto, 1959 ) då uppgifter om omsättningshastighet samt barrträdens densitet ( ton torrmasa/m<sup>3</sup> ) inte fanns tillgängligt för den svenska skogen. ( Uppgifterna för den Svenska skogen var tyvärr omöjliga att uppbbringa trots upprepade telefonsamtal och e-post till olika skogsorganisationer här i landet ). Därför användes finländska indataparametrar vid simulering av stam, barr, grenar och rötter. Kolinnehållet i torrved är 50 % av trädets vikt ( Lamlom och Savidge, 2003 ). Torrvedsdensiteten ( ton torrmasa/m<sup>3</sup> ) för gran i södra Finland var 0,440 och för tall 0,490 ( Nabuurs m.fl., 2002 ). För tallbeståndet var barrrens omsättningshastighet 0,25 /år, för granbestånd 0,17 /år ( Kellomäki m.fl., 1992 ). Omsättningshastigheten för grenar och rötter var 0,027 för både gran och tall ( Liski m.fl., 2002 ).

### 3.6.2 Gallring, 9

Från riksskogstaxeringens gallringsmallar beräknades sedan gallringsprocent och slutavverkningsålder ( tabell 3 ) ( Gallringsmallar, 1999 ).

( tabell 3 ) Gallringsstyrka och gallringsår för de olika barrbestånden.

GRAN 30		GRAN 32		GRAN 34		TALL 14		TALL 28	
Alder	Gallring %	Alder	Styrka %	Alder	Styrka %	Alder	Styrka %	Alder	Styrka %
25	38	22	45.6	18	40.7	65	54.1	23	40.4
37	35.4	32	35.4	28	34.3	130	100	36	28.5
47	20	43	20	34	21.7			53	37.5
57	25	50	25	39	22.2			90	100
85	100	80	100	46	14.3				
				75	100				

Procentandelen av det gallrade materialet som går till massaindustrin och timmerproduktion fick jag svar på från Skogforsk av Lars Wilhelmsson. Ungefär hur mycket av gallringsvirket går till timmer eller massa produktion vid olika stadier av gallringen kan ses i tabell 4.

( tabell 4 ) Procentuell fördelning av vart virket hamnar vid gallring.

Alder	Gallring %	Timmer %	Massa %	Kvar i skogen %
20	46	0	85	15
30	35	10	80	10
45	20	25	65	10
50	25	55	30	15
80	100	75	15	10

### 3.6.3 Nedbrytningsprocesser i marken, 10

Under markfliken angavs medeltemperatur för området och de månader som tillhör tillväxtsäsongen markerades. Uppgifterna togs från SMHI:s årsrapport 1961 - 90. Från årsrapporten användes temperaturen från de två stationer som låg närmast undersökningsområdet. Nederbörd under växetsäsongen beräknades utifrån nederbördskartor från SNA, 1995. Potentiell avdunstning beräknades av programmet



då man simulerade fram medeltemperaturen och tillväxtsäsongen. På vilket sätt nedbrytningsprocessen varierar i och ovan mark handlar den sista markparameterfliken om. Då nedbrytningen är olika för gran och tall, skiljer sig nedbrytningsparametrarna något åt. Uppgifterna togs från de finska barrträden, då uppgifter om de svenska saknades.

Sedan beräknades det totala kolinnehållet i marken enligt ( Lagergren, 2006 ):

$$\text{Kolinnehåll} = ( 0.48 * \text{ståndortsindex} - 3.33 ) * 10$$

Det totala kolinnehållet fördelades på döda grenar, grövre träddelar, ligninliknade material samt de olika lagren av humusskiktet utifrån resultatet från en tidigare studie, se tabell 5 ( Liski m.fl., 2003 ).

( tabell 5) Fördelningen i procent av markkol i de olika lagren.

Lager i marken	Gran %	Tall %
Förna, växtdelar, ej trä	1,9	1,0
Förna, finfördelat från växter	2,5	1,3
Förna, grovfördelat från växter	7,6	4,1
Extraktivämnen	1,3	0,7
Cellulosa	7,3	5,0
Lignin-liknande material	9,5	12,3
Humus lager 1	23,2	25,6
Humus lager 2	46,7	50,0

För att kunna beräkna markkolets startvärde efter varje slutavverkning till nästa omloppsperiod användes formeln:

$$\text{Maximalt markkol efter avverkning} / \text{maximalt markkol vid nyplantage under samma period} = \text{relativ ökning}$$

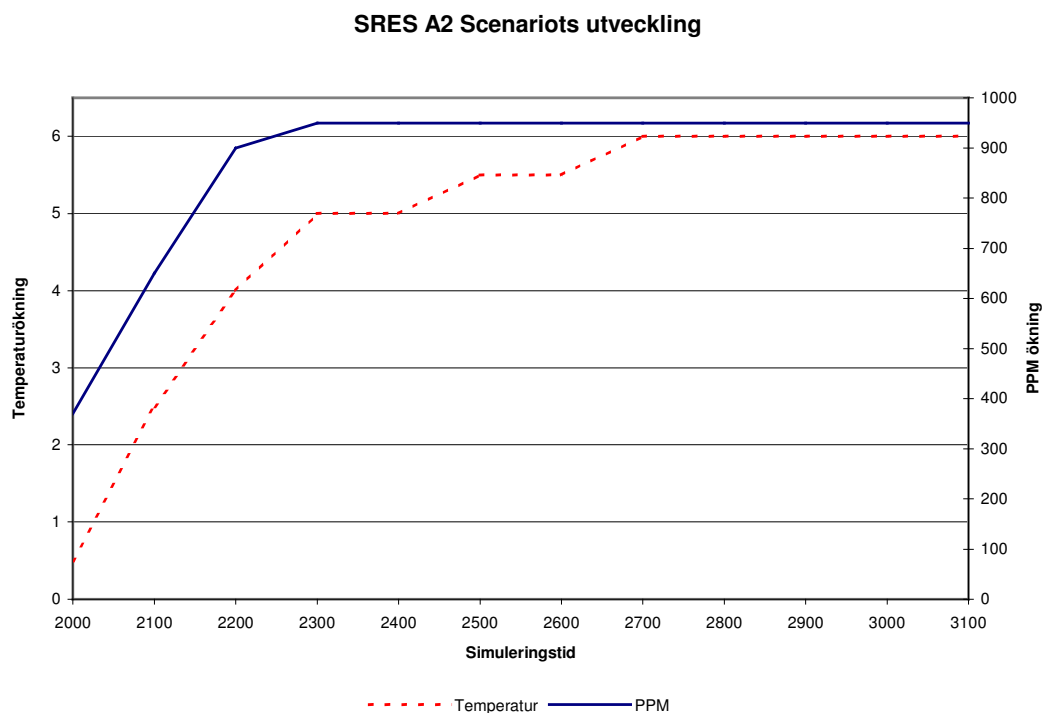
Den procentuella ökningen multiplicerades sedan med den tidigare omloppstidens startvärden för var och en av markkolets olika komponenter, varpå man fick hur mycket kol marken ska innehålla för nästa generation barrskogsbestånd.

### 3.6.4 SRES utsläppsscenario A2

De framsimulerade biomassauppgifterna gäller dagens skog. Då klimatförändringen skulle beräknas måste en ny simulering ske. Med hjälp av uppgifter från IPCC, SMHI och SWECLIM kunde man uppskatta hur mycket temperaturen och koldioxidhalten kommer att öka i framtiden. Samtliga scenarier visar på en ungefärlig stabilisering av koldioxidhalten om ungefär 250 ± 100 år. Koldioxidhalten beräknas då ligga på cirka 600 ± 200 ppm, för att sedan sakta börja sjunka, samtidigt förväntas temperaturen öka med 2 till 6 grader ( IPCC, 2001 ).

Då det inte var möjligt att simulera effekten av klimatförändringar i CO2 FIX ( Mohren, 2006 ), fick förändringarna av kolinnehåll och kolbalans beräknas.

Klimatförändringarna baserar sig på SRES - utsläppsscenario A2 ( figur 15 ). Detta scenario bygger på en kraftig ekonomisk tillväxt, låg befolkningstillväxt och en snabb introduktion till nya och mer effektiva teknologier ( IPCC, 2001 ).



( figur 15 ) Ökning av temperatur och ppm i atmosfären vid SRES A2 Scenario.

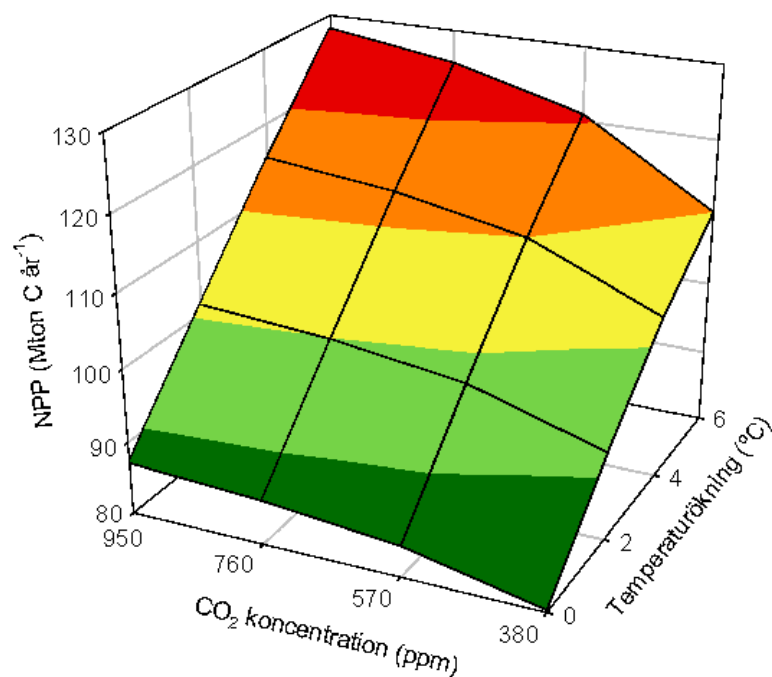
I en sådan värld strävar människorna efter eget välstånd, istället för en förbättrad miljö kvalitetsnorm. Med andra ord är A2 scenariot det värsta möjliga för jordens klimatologiska framtid! En ökning med upp till 6 grader samt en koldioxidhalt på över 950 ppm i atmosfären förutspås ( IBID ).

### 3.6.5 Klimatförändringens simulering, 11

Eftersom det inte finns några processer i CO2 FIX när det gäller tillväxten som kan reagera på ett förändrat klimat används ingående variabeln ”löpande volymtillväxt” för att simulera ändrade tillväxtförutsättningar. Då det finns ett starkt samband mellan tillväxt och NPP, användes resultat från en tidigare studie ( Lagergren m.fl., 2006 ) där Sveriges totala NPP har simulerats vid olika koldioxidhalter och vid olika temperaturökningar ( figur 16 ). Den relativa ökningen av NPP användes sedan för att öka den ingående löpande volymtillväxten i CO2 FIX.

I samtliga simuleringar sker den första tillväxtperioden under den aktuella koldioxidhalten i atmosfären och det klimat vi har nu. Beroende på omloppstiden, tillämpades sedan utsläppsscenario A2 då ny skog planterades, detta är den andra tillväxtcykeln. Både temperatur och koldioxidinnehåll är konstant under hela omloppstiden. Då beståndet avverkats och ny skog planterats, ändras temperaturen och ppm utefter hur många år beståndet vuxit och var i simuleringstiden det befinner sig i

utmed A2 scenariots klimatutveckling ( tabell 5 ). Atmosfärens temperaturökning som ändras i CO2 FIX efter varje omloppstid påverkar till markens nedbrytningsprocesser. I tabell 6 ser man hur mycket den procentuella tillväxten ökade på grund av en ökande koldioxidhalt och temperatur i atmosfären, detta gäller den löpande tillväxten för varje generation under hela simuleringen.



( Figur 16 ) Sveriges totala NPP i förhållande till koncentration av koldioxid och temperaturökning ( Lagergren m.fl., 2006 ).

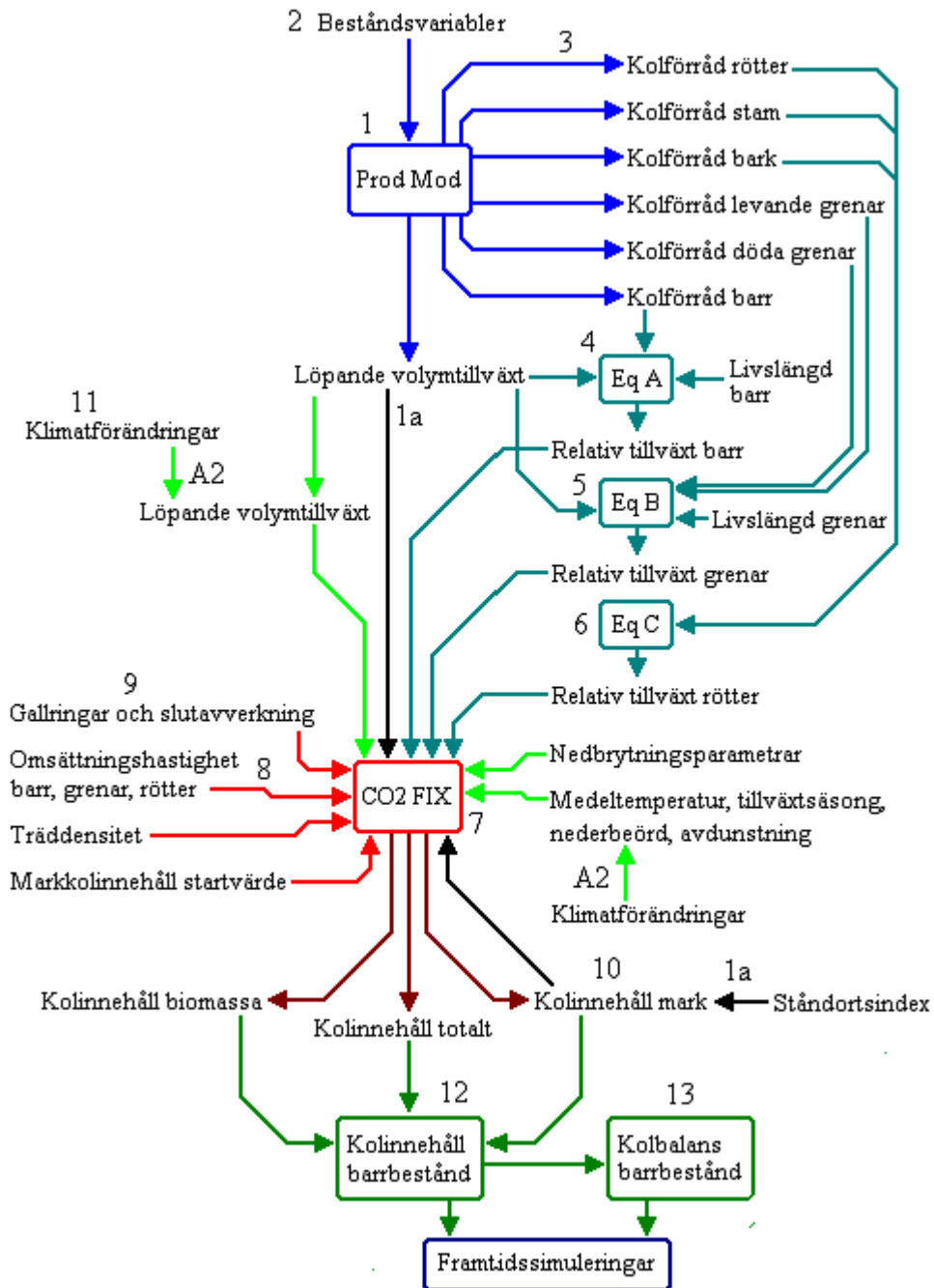
På nästa sida finns det en schematisk bild över hur modellerna hänger ihop, hur simuleringsprocesserna har används och vilka parametrar som ingick i simuleringen så att man kunde få en framtidssimulering för både kolinnehåll och kolbalans för barrskogarna vid accelererande klimatförändringar.

### 3.6.6 Framtida kolinnehållssimulering, 12

När samtliga beräkningar och inställningar är gjorda för relativ tillväxt, gallring samt markens nedbrytningsförlopp, kan man nu simulera fram kolinnehållet för ett valt barrskogsbestånd i CO2 FIX. Då den första omloppstiden är baserat på dagens klimat, kommer inga ändringar att ske utan uppgifterna för stam, barr, granar och rötter förs in under varje enskild kolumn i programmet.

### 3.6.7 Framtida kolbalanssimulering, 13

Uppgifterna som framräknas från kolinnehållssimuleringen för biomassa, mark samt totalt användes nu för att kunna beräkna kolbalansen. Mängden kolinnehåll året före subtraherades med det aktuella årets kolinnehåll, vilket ger hur mycket kolinnehållet förändrades, positivt eller negativt, under ett år.



( Figur 17 ) I bestandsvariablerna ingår art, grundyta, brösthöjd, ståndortsindex, geografisk indata, longitud, latitud, gallringshistorik, skogstyp samt markfuktighet. Flödesschemat visar hur simuleringen gick till från bestandsvariablerna till framtidssimulerad barrskog. Färgerna förenklar vilka olika delmoment de olika programmen användes för. Blå – Prod Mod- beräkningar, blågrön - ProdMod resultat. Svart ( 1a ) - simulering i dagens klimat, ljusgrön ( A2 ) - klimatförändringar. Röd CO2 FIX beräkningar, mörkröd - resultat från CO2 FIX. Grön – kolinnehåll och kolbalans. Mörkblå – diagram på framtidssimulerad skog.

## 4. Resultat

Resultatet av barrskogssimuleringarna som har beskrivits kan ses i grafform på sidorna som följer. Fjorton olika grafer kommer att visa de olika barrskogarnas kolinnehåll och kolbalans i biomassan, i marken, samt det totala kolupptaget och kolbalansen under simuleringstiden ( figur 18 till 27 ). X-axeln som beskriver tidslängden på framtidssimuleringarna varierar beroende på när slutavverkning sker för ståndorten ( tabell 2 ).

Diagrammen som följer visar det totala kolinnehållet och den totala kolbalansen, samt kolvariationerna i biomassa och mark. Där kolinnehållet snabbt minskar i biomassan, och där kolhalten i mark ökar, beror det på gallring. Anledningen till ökat kolinnehåll i marken är att grenar, toppar och stubbar lämnas kvar, vilket bidrar med att öka kolinnehållet i marken. Vid kolbalansgraferna har gallringen tagits bort, för att få en bättre översikt på hur kolbalansen förändras i skogsbeståndet.

Figur 18 - 23 illustrerar granbestånd och figur 24 - 27 tallbestånd. Då träden avverkas under olika tidsperioder kan man inte simulera fram till samma tidsintervall, utan detta begränsas av när simuleringen har framskridit så pass många beståndscykler att en jämvikt har uppnåtts i beståndet. Slutligen visar figur 28 en framtidssimulering av det totala kolinnehållet och figur 29 den totala kolbalansen för fullvuxen skog, just innan avverkning. Simuleringen pågår ungefär 1000 år framåt i tiden för både tall och gran.

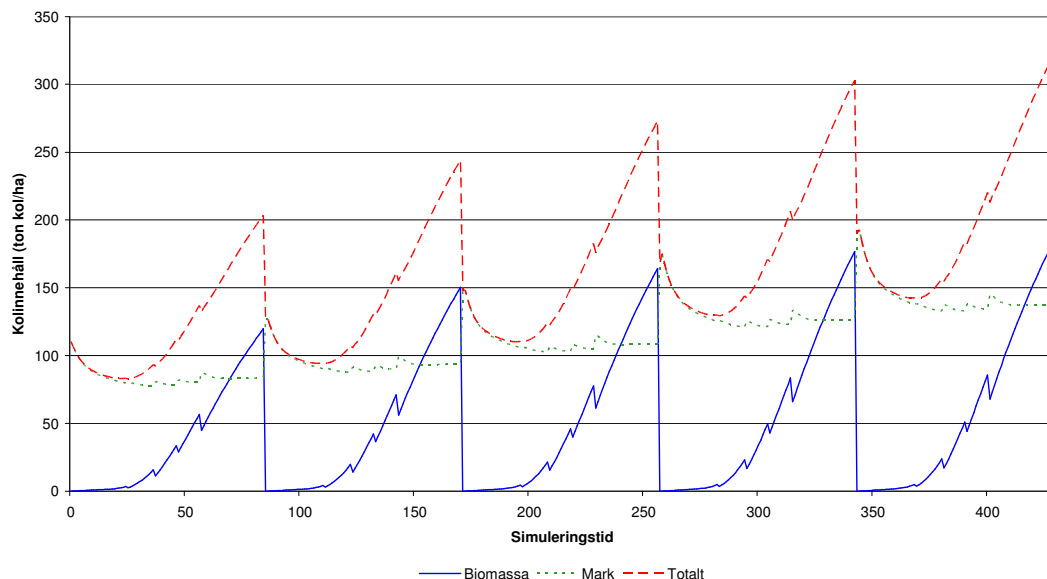
Figurerna som följer kommer att visa hur koldioxidinnehållet samt kolbalansen i biomassa och mark varierar genom åren vid en klimatförändring. Den första generationen representerar 1998 års skogsbestånd i dagens ( 2006 ) klimat. Sedan introduceras SRES utsläppscenario A2 för samtliga barrskogsbestånd. Därefter får barrbestånden utvecklas i den takt klimatet ändras med tiden.

I tabell 7 kan vi se hur skogen förändrats under varje omloppstid, hur mycket medelkolbalansen var och hur mycket virke som producerades.

Vid gallring tas biomassa bort från skogsbestånden, därav minskningen av kol i simuleringarna. Samtidigt ges en koltillförsel till marken. Vid slutavverkning tillförs marken stora mängder kol, vilket ger hög heterotrof respiration de närmaste åren. Kolinnehållet i marken nästan fördubblas då ett kalhygge äger rum, men sjunker sedan successivt. Koldioxid fortsätter att släppas ut i atmosfären från nyplantage tills beståndet är en ungskog. Efter ungefär 15 - 25 år blir åter området en kolsänka då träden är tillräckligt stora för att ta upp mer kol från atmosfären än som avges genom respiration.

## 4.1 Framtidssimulering av kolinnehåll för granbestånd, SI 30

Kolinnehåll för granbestånd, 0 - 425 år, med SI 30



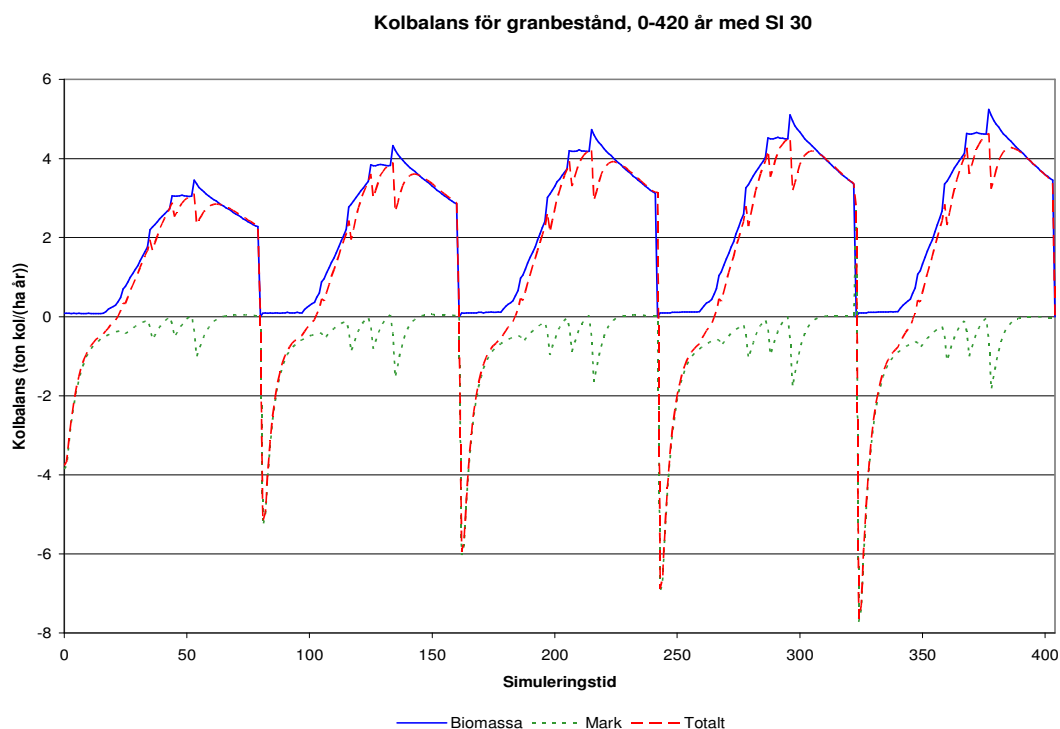
( figur 18 ) Framtidssimulering av ett granbestånd med ståndortsindex på 30 m.

Figuren ovan visar en framtidssimulering av granskog med ett ståndortsindex på 30 meter. Simuleringstiden i detta scenario är 425 år, då det tar 5 generationer tills beståndet når jämvikt i kolupptaget. Detta granbestånd täcker 2,8 % av Kristianstads läns totala skogsbestånd.

Kolinnehållet i biomassan, innan beståndet avverkas, kommer att öka med 54,5 % under 340 år, från 117,5 ton kol/ha till 181,6 ton kol/ha i slutet av simuleringen. Efter klimatförändringen ökar kolupptaget stadigt under fyra generationer á 85 år.

Under ungefär 35 års tid släpps det ut koldioxid från marken, tills träden blivit tillräckligt stora och förnafallet blivit tillräckligt stort för att kunna kompensera för den heterotrofa respirationen. Under hela simuleringstiden ökar kolinnehållet i marken, mätt precis innan slutavverkning med 64 %. Från 83,6 ton kol/ha till 137 ton kol/ha.

## 4.1.2 Framtidssimulering av kolbalans för granbestånd, SI 30



( figur 19 ) Framtidssimulering av ett granbestånds kolbalans med ståndortsindex på 30 m.

Här ser vi hur kolbalansen kommer att förändra sig för G 30 då A2 scenariot tillämpas. Maximala kolbalansen i biomassan kommer att öka från dagens 3,35 till 5,24 ton kol / ( ha år ) om 370 år. Det är en ökning på 56 %. Som tidigare nämnts så når kolbalansen ett optimum vid ungefär 55-års ålder då träden har maximalt med växtbiomassa-produktion. Efter detta är träden så pass gamla att kolbalansen sjunker, vilket också syns i graferna.

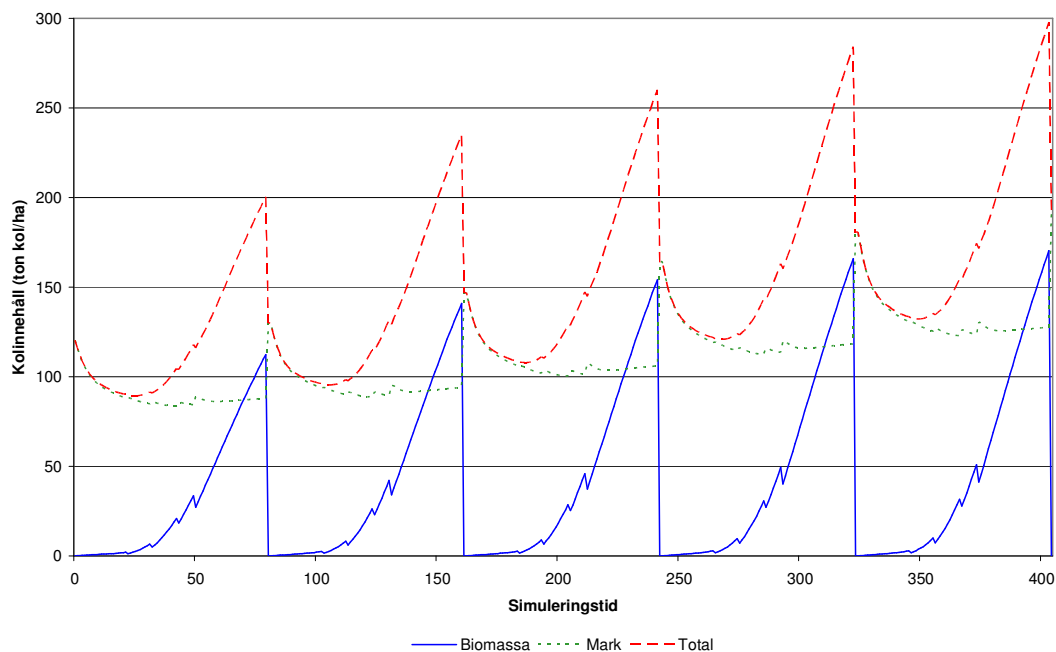
Efterverkningarna av gallringar och slutavverkningar syns mer tydligt i marken, ju längre simuleringen pågår, desto mer koldioxid släpps det ut vid varje slutavverkning eftersom markens kolinnehåll stadigt ökar. Överlag är markens kolbalans relativt jämn eftersom tillförseln efter varje ingrepp blir större ju större biomassan är. Innan slutavverkning sker är det fortfarande en positiv kolbalans i beståndet.

Det totala kolbalansflödet följer i princip biomassans kurva, men sjunker ner kraftigt då beståndet avverkas och endast den heterotrofa respirationen verkar. Ju större träden blir, desto mer kol tillförs till marken genom förnafall. Då träden blivit runt 70 år gamla minskar kolbalansen sakta i marken.

Medelkolbalansen kommer att öka från årets 1.25 ton kol / ( ha år ) till 1.71 ton kol / ( ha år ) vid sista omloppstiden i simuleringen

## 4.2 Framtidssimulering av kolinnehåll för granbestånd, 32

Kolinnehåll för granbestånd, 0 - 400 år, med SI 32



( figur 20 ) Framtidssimulering av ett granbestånd med ståndortsindex på 32 m.

För granskog med ett ståndortsindex på 32 meter tar det också fem generationer tills den når jämvikt i kolbalansen. Då slutavverkningen sker nästan under samma period som för gran 30, följer detta bestånd samma mönster. 7,5 % av skogsarealen i Kristianstads län är granskog 32.

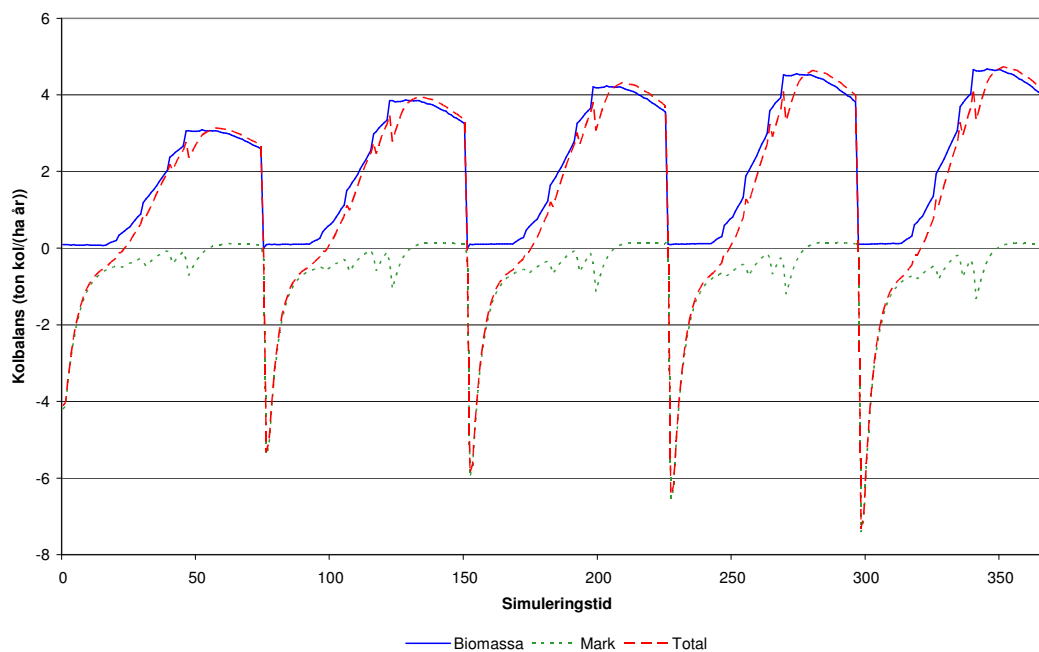
Kolinnehållet vid slutavverkningspunkten kommer att öka med 51,6 % under 320 år, från 112,3 ton kol/ha till 170,3 ton kol/ha. En generation är 80 år

Dagens markkol är innehåller 87,7 ton kol / ha, ökar till 127,5 t/h innan sista omloppstidens avverkning. Det ger en ökning på 45,3 %. Då träden avverkas tidigare blir det mindre förnåfall till marken.



## 4.2.1 Framtidssimulering av kolbalans för granbestånd, SI 32

Kolbalans för granbestånd, 0 - 400 år, med SI 32



( figur 21 ) Framtidssimulering av ett granbestånds kolbalans med ståndortsindex på 32 m.

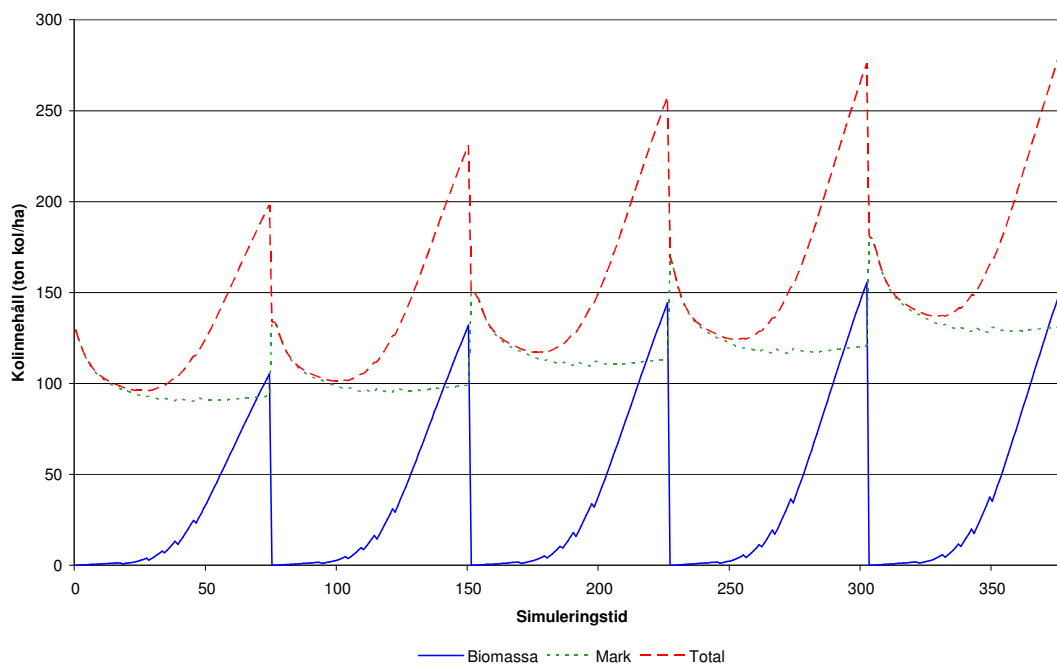
Den maximala kolbalansen i biomassan ökar med 53,3 %. Från 3 ton kol / ha till 4,6 ton kol / ha. Maximal biomassaproduktion uppnås vid ungefär 45 års ålder. Hårdare första gallring för detta bestånd ( tabell 2 ) leder till att kolbalansen blir något lägre. Vid 45 års ålder börjar träden att minska sin biomassaproduktion, vilket fortsätter tills det avverkas.

Då gallringsprogrammet ( tabell 2 ) är olika för bestånden varierar beståndets kolbalans efter gallringschemat. Då biomassan hela tiden ökar, ökar också den autotrofa respirationen vilket är en orsak till att kolbalansen kulminerar.

Det totala kolbalansflödet har ungefär samma mönster som föregående bestånd.

### 4.3 Framtidssimulering av kolinnehåll för granbestånd, SI 34

Kolinnehåll för granbestånd. 0 - 375 år, med SI 34



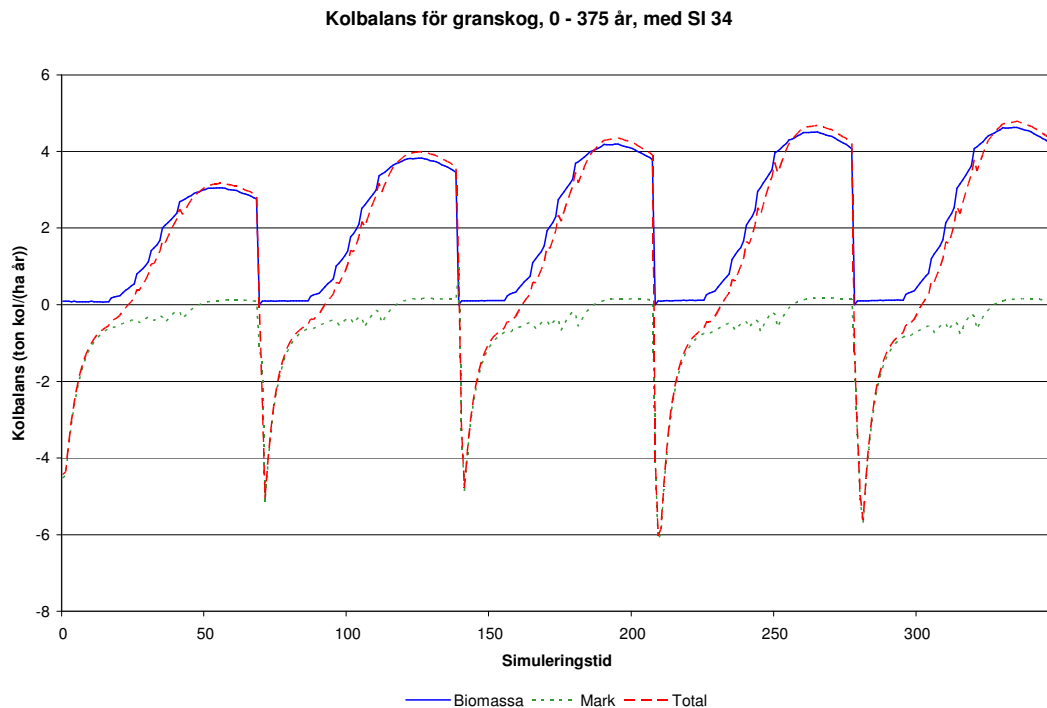
( figur 22 ) Framtidssimulering av ett granbestånd med ståndortsindex på 34 m.

För granskog med ett ståndortsindex på 34 meter tar det också fem generationer tills den når jämvikt i kolbalansen. Denna skogstyp växer på 4,6 % av skogsmarken i Kristianstads län.

För G34 ökar totala kolinnehållet som mest av de simulerade granbestånden, nämligen med 52 % under de simulerade 300 åren. Sett över samtliga gransimuleringar ökar dock kolinnehållet i biomassan i G34 minst. Innan första slutavverkning är kolinnehållet i biomassan 105,2 ton kol/ha men ökar till 160 ton kol/ha om 375 år.

Gallringsprogrammet ( tabell 2 ) har stor betydelse för hur kolinnehållet slutligen blir i beståndet. Då den totala gallringsstyrkan är som störst tar det längre tid för marken att återhämta sig.

### 4.3.1 Framtidssimulering av kolbalans för granbestånd, SI 34



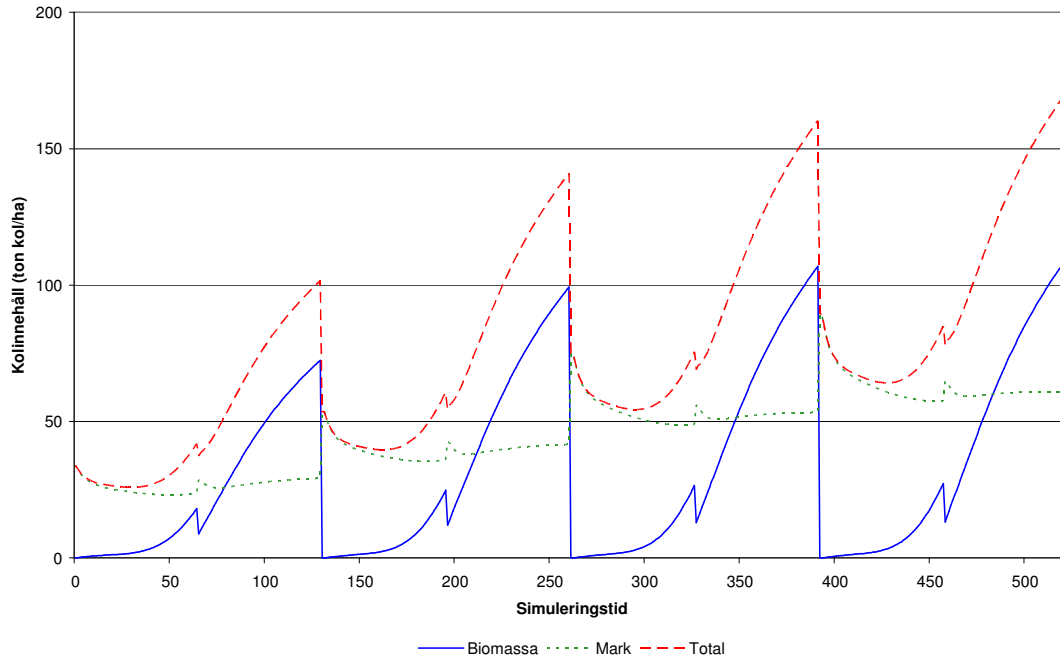
( figur 23 ) Framtidssimulering av ett granbestånds kolbalans med ståndortsindex på 34 m.

Även om det är en liten skillnad så har G 34 lägst kolbalans, här finns det ingen karaktäristisk spets på biomassakurvan som föregående bestånd, utan den jämnar ut sig för att sedan sakta börja sjunka. Det blir en ökning med 47,6 % av kolbalansen i biomassan som ökar från 3,13 till 4,6 ton kol/(ha år)

Markens balans ökar med 250 % under 300 år, från 0,12 ton kol / ( ha år ) till 0,42 ton kol / ( ha år ). Det är den lägsta ökningen bland samtliga gransimulationer. Efter cirka 40 år in på varje simulering övergår marken till en sänka, då den börjar ta upp mer kol än vad den släpper ut.

#### 4.4 Framtidssimulering av kolinnehåll för tallbestånd, SI 14

Kolinnehåll för tallbestånd, 0 - 520 år, med SI 14



( figur 24 ) Framtidssimulering av ett tallbestånd med ståndortsindex på 14 m.

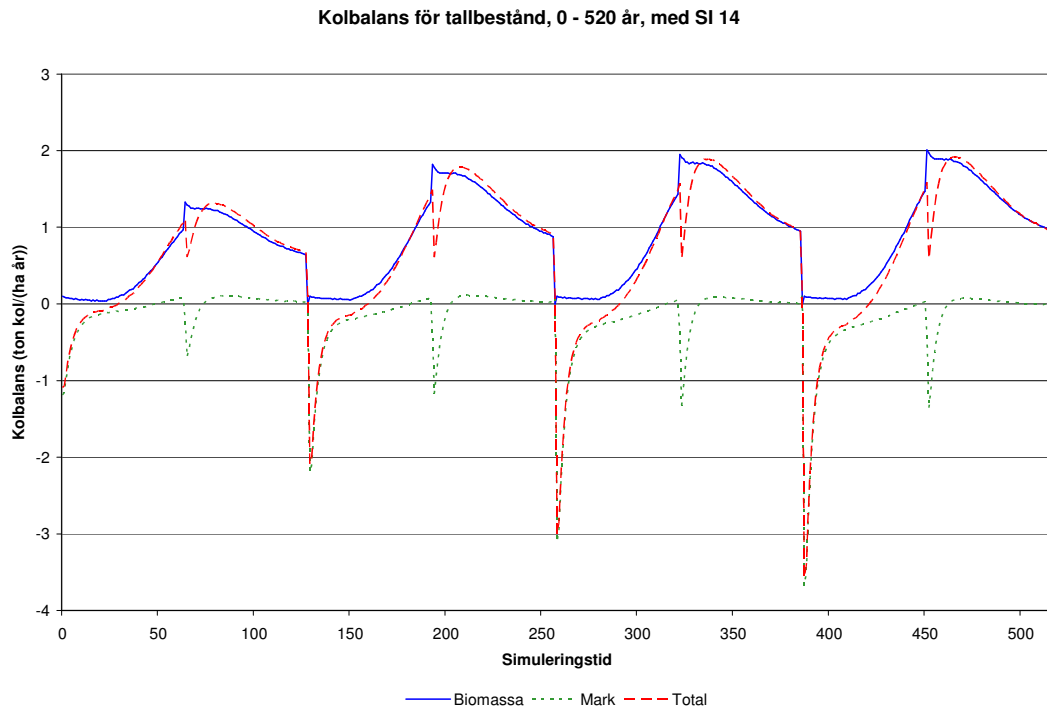
Figuren ovan visar en framtidssimulering av tallskog med ett ståndortsindex på 14 meter. Simuleringstiden i detta scenario är 520 år. Fyra generationer tar det för tallbeståndet innan jämvikt nås. T14 upptar en yta på 10653 ha eller 4,1 % av det totala barrskogsbeståndet i länet.

Biomassans kolinnehåll kommer att öka från 72,5 ton kol/ha till 109,8 ton kol/ha, vilket är en ökning med 51,4 % under 520 år, då en generation varar i 130 år kommer den sista simuleringen inte påverkas lika mycket som föregående generation, då har beståndet nästan nått ett konstant stadium.

Här ser man en tydlig skillnad gentemot granbestånden. Den största skillnaden är att produktionsnivån inte är lika hög, och att det bara finns en gallring. Under simuleringen tar beståndet upp minst kol sett till samtliga barrskogssimuleringar, trots att beståndet växer tills det blir 130 år.

Kolinnehållet i marken ändras inte lika mycket i absoluta termer för detta tallbestånd som för granskogsbestånden. Men den relativa ökningen är stor, 110,3 % genom hela simuleringen. Dock tar det fram till gallringen innan marken åter kan börja ta upp kol. Då tallbeståndet växer så pass länge ökar kolinnehållet i marken då den ökande biomassan ger en större tillförsel av förna.

#### 4.4.1 Framtidssimulering av kolbalans för tallbestånd, SI 14



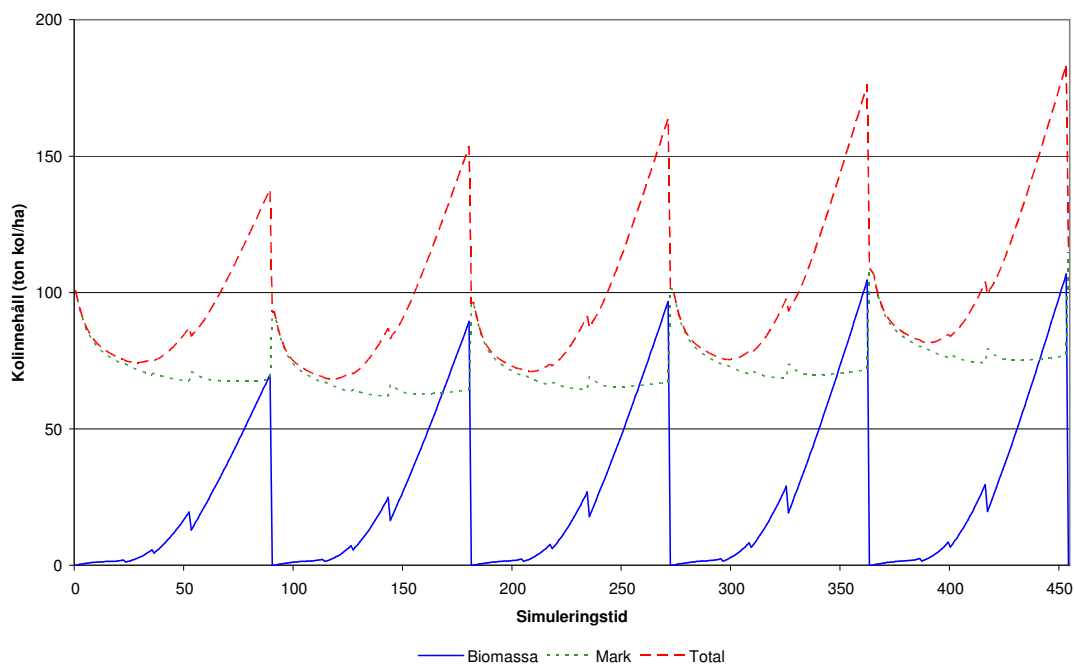
( figur 25 ) Framtidssimulering av ett tallbestånds kolbalans med ståndortsindex på 14 m.

Kolbalansen för T14 är helt annorlunda jämfört med granens, för det första är den betydligt lägre än för gran. Dessutom minskar kolbalansen stort efter att den nått maximalt med växtbiomassa produktion, vilket nås ungefär vid halva rotationslängden. Totalt ökar den maximala kolbalansen i biomassan med 57 % från 1,28 till 2,01 ton kol / ( ha år ).

Maximala kolbalansen i marken ökar med 66 % under den simulerade tiden på 520 år, från 0.09 till 0.15 ton kol / ( ha år ). Gallringen har större inverkan på både biomassan och kolbalansen i marken ju äldre beståndet är och ju kraftigare gallring.

## 4.5 Framtidssimulering av kolinnehåll för tallbestånd, SI 28

Kolinnehåll för tallbestånd, 0 - 450 år, med SI 28



( figur 26 ) Framtidssimulering av ett tallbestånd med ståndortsindex på 28 m.

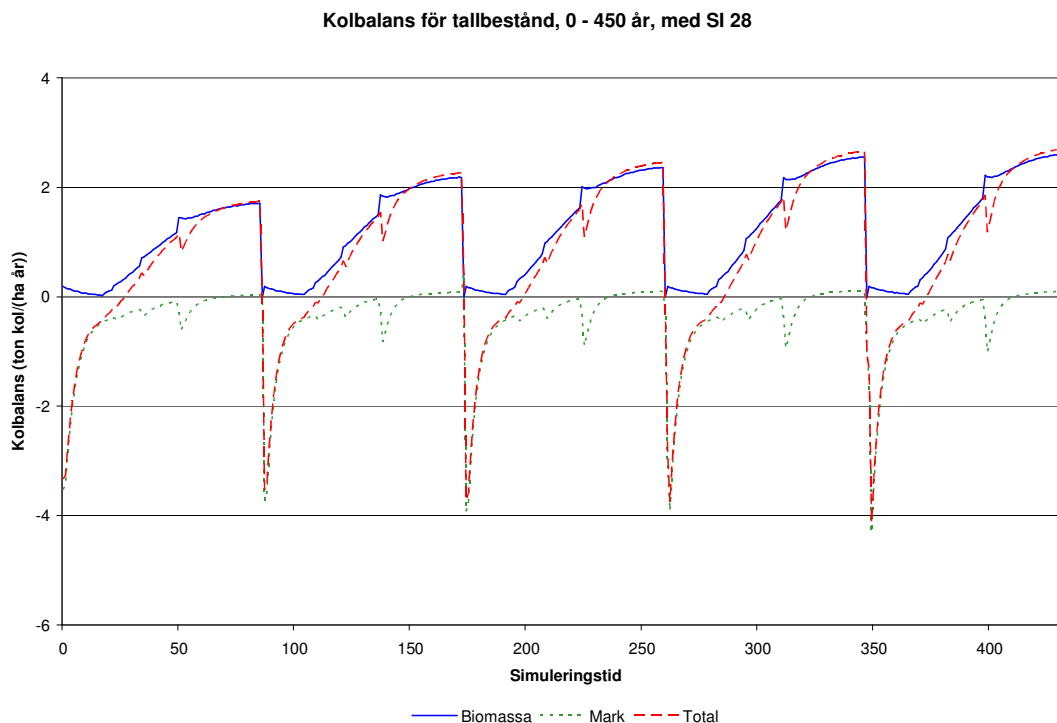
Denna simulering av tallbestånd med ståndortindex 28 meter liknar de simulerade granbestånden. Beståndet växer på 2,2 % av Kristianstads läns skogar. Den största skillnaden för detta bestånd är det lägre kolupptaget i biomassa och mark.

I simuleringen nådde aldrig den löpande tillväxten en topp utan beståndets produktionsförmåga ökade fram till slutavverkningen. Skogen avverkas vid 90 års ålder, medan den löpande tillväxten först minskade efter 110 år.

Således avverkas tallbeståndet 20 år innan tillväxten skulle börja minska. På grund av detta blir kolupptaget inte optimalt. Under 450 år ökade kolet i biomassan från 69 ton kol/ha till 106,8 ton kol/ha, vilket ger en ökning på 54,7 %.

För T28 minskar kolinnehållet i marken under de första två generationerna. Därefter börjar det öka. Efter cirka 230 år börjar upptaget att öka sakta då sista gallringen har ägt rum. Kolupptaget i biomassan ökar sakta men stadigt då temperaturen och koldioxidhalten ökar. Under hela simuleringen ökar markens kolinnehåll med 13 %.

#### 4.5.1 Framtidssimulering av kolbalans för tallbestånd, SI 28

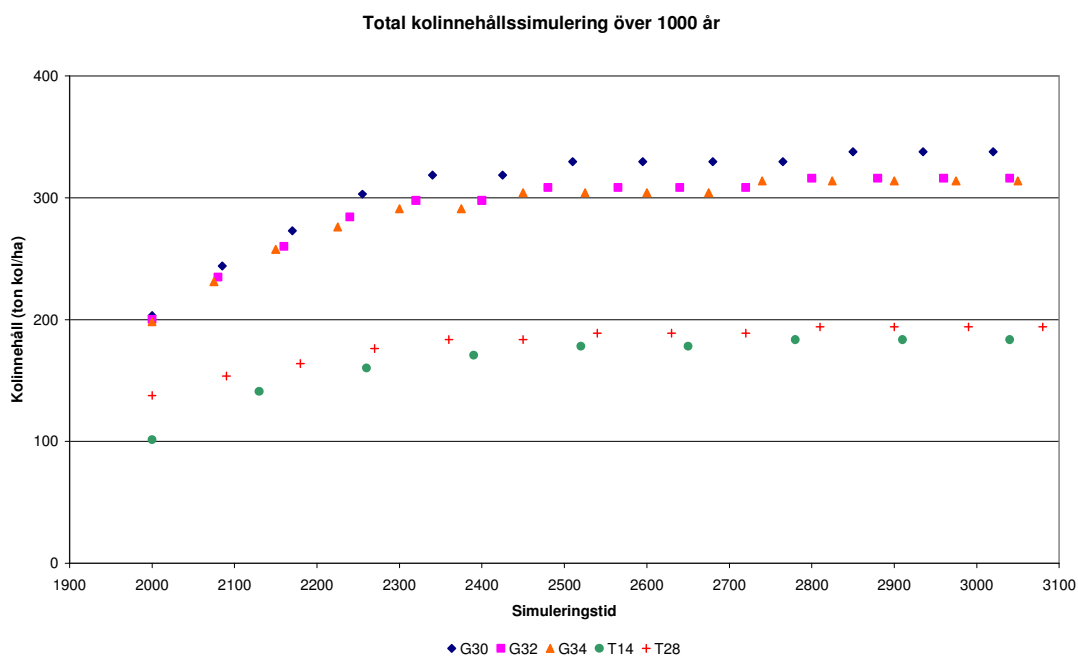


( figur 27 ) Framtidssimulering av ett tallbestånds kolbalans med ståndortsindex på 28 m.

Kolbalansen för biomassan hos T28 ökar hela tiden fram tills beståndet når slutavverkning. Med undantag för T14 har tall 28 de starkaste gallringarna sett över samtliga simuleringar ( tabell 2 ). Då en stark gallring sker minskar tillväxten ( figur 10 ). Det kan vara en anledning till att kolbalansen kulminerar sent och slutavverkning sker innan kolbalansen kan minska. Biomassans kolbalans ökar från 1,74 till 2,6 ton kol / ( ha år ). Det ger en ökning med 49,4 %

Kolbalansen i marken ökar markant, då den ligger på 0,03 ton kol / ( ha år ) för första simulering, men ökar till 0,22 ton kol/ha om cirka 420 år.

## 4.6 Framtidssimulering av totalt kolinnehåll för samtliga bestånd



( figur 28 ) Punktdiagrammet visar kolinnehåll vid slutavverkningsstadiet i samtliga barrskogsbestånd under 1000 år.

I figur 28 kan man se hur det totala kolinnehållet vid tidpunkten för slutavverkning kommer att förändras för samtliga barrskogsimulationer vid en klimatförändring av SRES scenario A2. Det totala kolinnehållet i biomassa och mark för barrbestånden kommer i genomsnitt att öka från dagens 168,2 ton kol/ha till 269,1 ton kol / ( ha år ), vilket är en ökning med 100,9 ton kol / ( ha år ) eller 60 % fram till år 3080.

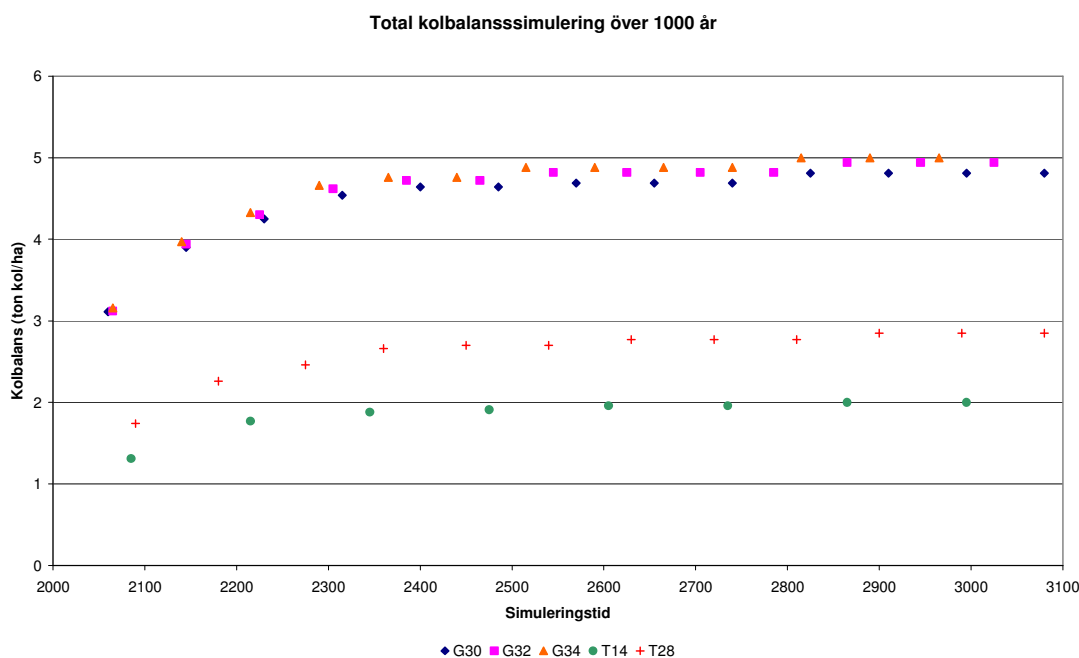
När man räknar om den ökande produktionsförmågan till bonitetsökning och från bonitet till ståndortsindex finner man att ståndortsindex kommer att öka med i genomsnitt 7,6 meter. Tall ökar med 6 meter och gran med 8,7 meter.

För det simulerade tallbeståndet med SI 14 kommer det om ungefär 650 år att växa tallbestånd med ståndortindex 19. För tall med SI 28 kommer det om cirka 600 år bli ett bestånd på SI 35. Vad gällande granbestånden kommer beståndet på SI 30 bli en skog på SI 38 om ungefär 500 år. För 32 blir det 41 om 560 år och slutligen för gran 34 ett SI på 43 meter om 580 år. Sammantaget så kommer barrskogarna i Skåne att förändras, växa bättre och ta upp mer kol om ungefär 570 år.

Anledningen till att kolinnehållet jämnar ut sig efter ungefär 500 år, är att temperatur och atmosfäriskt koldioxidinnehåll har nått sin högsta punkt och det ökar inte längre utan blir konstant, med undantag av en liten temperaturökning från 5,5 grader till 6 efter år 2700. För nästa figur ( 29 ) gäller samma klimatologiska och atmosfäriska förutsättningar.



## 4.6.1 Framtidssimulering av kolbalans för samtliga bestånd



( figur 29 ) Punktdiagrammet visar då kolbalansen var som högst under ett bestånds omloppstid. Diagrammet gäller för samtliga skogsbestånd under 1000 år.

Här kan man se i figur 29 hur den maximala kolbalansen kommer att förändras för samtliga barrskogsimulationer vid nyss nämnda klimatförändring. Den totala kolbalansen i biomassa och mark för barrbestånden kommer i genomsnitt att öka från dagens 2,48 ton kol / ( ha år ) till 3,92 ton kol / ( ha år ), vilket är en ökning på 43 % fram till år 3080. Då klimatförändringen har störst inverkan på bestånden under de fyra första generationerna, kommer den genomsnittliga ökningen att vara som störst under den perioden. Granbeståndens kolbalansökning har ungefär samma utvecklingskurva, då bestånden som simulerades har tre efterföljande ökande ståndortsindex. Medan skillnaden på kolbalansen är större för tallbestånden, då det skiljer betydligt mer mellan ståndortsindexvärdena. Det lägsta beståndet, T 14, har självklart också lägst kolbalans. Man skall dock tänka på att kolinnehållet i marken ändå kan vara i jämvikt sett över hela rotationsperioden när man betraktar figuren.

Tabell 7 visar hur mycket kolet förändrades för varje generation. Det största kolupptaget finns i G 32, då detta område representerar det största arealen. Medelkolbalansen för samtliga bestånd utan klimatförändringar är 0,87 ton kol/( ha år ) och de tar tillsammans upp 51215 ton kol. Vid maximalt SRES A2 scenario om ungefär 700 år blir medelkolbalansupptaget 1,28 ton kol/( ha år ), med ett sammanlagt kolupptag på 73092 ton kol sett till samtliga simulerade barrskogsbestånd. Räkna man barrskog < 70 % över Kristianstads län, kommer kolupptaget att öka med 56160 ton kol till år 2500, det ger en ökning på 46 %. En minskning av kolupptaget för den sista generationen beror på att klimatet ändrats lite jämfört med föregående generation. Kolutsläppet fortsätter att öka medan kolupptaget inte reagerar lika mycket på en halv grads ökning av temperaturen.

(Tabell 6 ) Olika skogsfakta om bestånden i undersökningsområdet.

<b>Gran 30, 7383 ha</b>	<b>Tillväxt- period</b>	<b>Totalt kolinnehåll (ton kol/ha)</b>	<b>Tillväxtökning i procent</b>	<b>Miljoner ton kol i beståndet</b>	<b>Medelkolbalans ton kol/(ha år)</b>	<b>Kolupptag i beståndet (ton)</b>	<b>Skördat virke ton kol/ha</b>
<b>Omloppstid</b>							
1	0-85	203	*	1.49	1.25	9229	141.4
2	86-170	244	25.5	1.8	1.58	11665	177.4
3	171-255	273	9.3	2.06	1.72	12699	193.8
4	256-340	303	7.6	2.24	1.77	13068	208.6
5	341-425	318	2.7	2.35	1.71	12625	214.3

<b>Gran 32, 19474 ha</b>	<b>Tillväxt- period</b>	<b>Totalt kolinnehåll (ton kol/ha)</b>	<b>Tillväxtökning i procent</b>	<b>Miljoner ton kol i beståndet</b>	<b>Medelkolbalans ton kol/(ha år)</b>	<b>Kolupptag i beståndet (ton)</b>	<b>Skördat virke ton kol/ha</b>
<b>Omloppstid</b>							
1	0-80	200	*	3.89	1.11	21616	123.6
2	81-160	235	25.5	4.58	1.45	28237	155.1
3	161-240	260	9.3	5.06	1.52	29600	169.4
4	241-320	284	7.6	5.53	1.51	29406	182.4
5	320-400	298	2.7	5.8	1.48	28822	187.3

<b>Gran 34, 12006 ha</b>	<b>Tillväxt- period</b>	<b>Totalt kolinnehåll (ton kol/ha)</b>	<b>Tillväxtökning i procent</b>	<b>Miljoner ton kol i beståndet</b>	<b>Medelkolbalans ton kol/(ha år)</b>	<b>Kolupptag i beståndet (ton)</b>	<b>Skördat virke ton kol/ha</b>
<b>Omloppstid</b>							
1	0-75	198	*	2.37	0.98	11766	110.1
2	76-150	231	22.5	2.77	1.41	16928	138.3
3	151-225	257	9.3	3.08	1.55	18609	150.8
4	226-300	276	7.6	3.31	1.52	18249	155.1
5	301-375	291	2.7	3.49	1.58	18969	160.1

<b>Tall14, 10652 ha</b>	<b>Tillväxt- period</b>	<b>Totalt kolinnehåll (ton kol/ha)</b>	<b>Tillväxtökning i procent</b>	<b>Miljoner ton kol i beståndet</b>	<b>Medelkolbalans ton kol/(ha år)</b>	<b>Kolupptag i beståndet (ton)</b>	<b>Skördat virke ton kol/ha</b>
<b>Omloppstid</b>							
1	0-130	102	*	1.08	0.55	5859	81.7
2	131-260	141	37.2	1.5	0.72	7669	112.2
3	261-390	160	7.6	1.7	0.71	7563	120.6
4	391-520	171	2.7	1.82	0.68	7243	123.9

<b>Tall28, 5842 ha</b>	<b>Tillväxt- period</b>	<b>Totalt kolinnehåll (ton kol/ha)</b>	<b>Tillväxtökning i procent</b>	<b>Miljoner ton kol i beståndet</b>	<b>Medelkolbalans ton kol/(ha år)</b>	<b>Kolupptag i beståndet (ton)</b>	<b>Skördat virke ton kol/ha</b>
<b>Omloppstid</b>							
1	0-90	138	*	0.8	0.47	2746	78.4
2	91-180	154	28.0	0.89	0.76	4440	100.2
3	181-270	164	8.2	0.96	0.83	4849	108.1
4	271-360	176	8.1	1.03	0.93	5433	116.8
5	361-450	184	2.2	1.07	0.93	5433	119.4

	<b>Totalt kolinnehåll (ton kol/ha)</b>	<b>Miljoner ton kol/ha i beståndet</b>	<b>Medelkolbalans ton kol/(ha år)</b>	<b>Sammanlagt kolupptag i bestånden (ton)</b>	<b>Kristianstad län &lt;70% barrskog, kolinnehåll miljoner ton</b>	<b>Kolupptag i beståndet &lt;70% (ton)</b>	<b>Total mängd skördat virke (ton kol/ha)</b>
<b>Omlopp</b>							
1	841	9.63	0.87	51215	1.34	121216	535.2
2	864	10.04	1.3	61271	1.50	180713	570.9
3	1095	12.66	1.27	73427	2.01	176264	734.3
4	1199	13.81	1.29	73719	2.33	179045	683.5
5	1262	14.53	1.28	73092	2.55	177376	805.1

## **5. Diskussion**

### **5.1 Koldioxidutsläppet i atmosfären**

Innan länderna skrev under Kyoto-protokollet var forskarnas största motivation och ambition att utsläppet av koldioxid, främst från industrier och bilismen skulle minskas. En alldeles för stor fokusering lades på detta problem. En större fokusering från forskare på hur koldioxidflödet i marken efter ett större kalhygge beter sig borde ha gjorts, då det är under detta stadium som mycket koldioxid släpps ut i naturen. Koldioxidutsläppet skulle egentligen kunna minskas med andra metoder än dagens. En närmare granskning om skogarnas betydelse som kolsänka hade säkerligen hjälpt till med att minska koldioxidutsläppet till atmosfären.

Genom att minska antalet kalhyggen, kan man på detta sätt minska koldioxidutsläppet i naturen. Då marken släpper ut mycket koldioxid vid avverkningar och en del år in på nyplantage, borde en ny strategi för kalhuggning ske. En förlängd omloppstid för beståndet och ett förbättrat kalhuggningssystem, där man optimerar för både skogen och naturen hade hjälpt att minska utsläppen. Med denna strategi skulle man kunna minska koldioxidutsläppen ytterligare i naturen och på så sätt bidra med att minska klimatförändringens ökning.

Det faktum att medelkolupptaget över omloppstiden ( tabell 6 ) är längre än kolupptaget vid slutavverkningen ( figur 19, 21, 23, 25, 27 ) visar att omloppstiderna är för korta för ett optimalt kolupptag. Vid ett optimalt kolupptag skall medelkolupptaget och det årliga upptaget vara lika stort vid slutavverkningen.

### **5.2 Simuleringsprogrammen**

De båda simuleringsprogrammen, ProdMod och CO2 FIX har visat sig vara kapabla att simulera barrskogsbeståndets koldioxidbalans. Dock krävdes en del jobb i excel för att kunna beräkna den relativa tillväxten hos träden. Senare i simuleringsarbetet behövdes det en ny stint i excel för att kunna genomföra en framtida simulering av klimatförändringarna för både kolinnehåll och kolbalans.

Då gallringen inte skedde i ProdMod, blev kolbalanssimuleringarna missvisande vid gallringen. Biomassans kolbalans ökade istället för att sjunka, då CO2 FIX beräknade en ökad kolbalans i biomassan

En annan möjlighet för att göra koldioxidsimuleringen hade varit att använda ett eller fler mer avancerade program. Då hade man förmodligen också kunnat göra framtidssimuleringen på ett mer precist sätt. Ny detaljerad skogsdatainformation över Skåne-regionen och ett annat skogsbaserat program som simulerar emigrering och immigration av olika skogstyper hade varit till hjälp. En simulering med mer kraftfulla program hade gett den framtida skogen i Kristianstads län mer rättvisa.

### 5.3 Resultat

Anledningen till valet av A2 scenariot var att ingen egentligen vet hur mycket klimatet kommer att förändras. Flera olika framtida klimatsimuleringar visar på en ökad temperatur och koldioxidhalt. Då framtiden är så pass oviss, valde jag det värsta tänkbara scenariot, då kan man se större effekt på tillväxten hos barrträden.

Av de utförda simuleringarna att döma kommer en stor ökning av kolinnehållet att ske i gran- och tallskogsbeståndet vid Hässleholms kommun.

Medelkolförrådet vid slutavverkningstidpunkten för de simulerade skogarna idag ligger på 169 ton kol/ha, om ungefär 1000 år kommer det att ligga på 269 ton kol/ha, det är en ökning på 60 %. Vad gäller maximalt kolupptag under cirka 1000 års tid, blir det en ökning från dagens 2,48 ton kol / ( ha år ) till 3,92 ton kol / ( ha år ), det ger en ökning på 58 %.

Dock är denna siffra osäker, då detta gäller en simulering, där man förväntar sig att barrskogen kommer att följa klimatförändringarnas inverkan efter hur simuleringsprogrammen är programmerade och kalibrerade. Som nämnt i uppsatsen pekar mycket på att den första stimulansen av ökad mängd koldioxidproduktion snabbt avtar.

Då Kristianstads skogar domineras av barrskogsbestånd som är mellan 0 till 60 år ( figur 13 ), innebär det att dessa skogar har störst vikt för kolbalansen. I synnerhet bestånden som är mellan 40 - 60 år tar upp mycket koldioxid ( figur 19, 21 och 23 ), och hjälper på så sätt till att lokalt minska koldioxiden i atmosfären. Dessa bestånd har ungefär 20 - 30 år kvar innan de avverkas, under denna tid kommer kolinnehållet att öka i biomassan. Då en stor andel av skogen har åldersintervallet på < 21 år, leder det till att kolbalansen idag inte är så hög. Dessa skogar släpper idag ut koldioxid i atmosfären, men om ungefär 20 - 30 år när skogarna når sin högsta kolbalans, kommer den totala kolbalansen inom Kristianstads län att vara mycket positiv.

Även om de simulerade skogstyperna endast täcker 21.2 % av Kristianstads läns skogar så ser man att större delen av skogarna kommer öka kolupptaget hos de dominerande skogsbestånden. Samma utveckling kan man säkerligen vänta sig för de övriga barrskogsbestånden. Anledningen till att jag inte simulerade fler skogstyper var att de växte på en alldeles för liten areal. En uträkning av kolbalansen där hade gett likvärdiga uppgifter som för de fem dominerande barrskogsbestånden jag valt. Dessa simuleringar kan representera hela barrskogsområdet. För hela Kristianstads läns barrskog, med en artdominans på <70 % ökade kolinnehållet från 1.34 till 2,55 miljoner ton kol, det är en ökning med 90 % av kolupptaget i hela länet ( tabell 6 ).

Desto högre ståndortsindexvärde dagens skogsbestånd har, desto mer kol kommer träden att ta upp i framtiden. Kolupptaget blir som störst hos gran på kortast tid för ett bestånd på 32 meter.

I tabell 7 ser vi detaljerat hur de olika bestånden kommer att förändras för varje omloppstid. Då tillväxten stadigt ökar, produceras med mer biomassa och mer kol tas upp. Enligt undersökningen kommer det sammanlagda kolupptaget i de simulerade bestånden att öka med 21877 ton kol och för Kristianstads län med 56160 ton kol, vilket är positivt, då det kan bidra med att minska klimatförändringarnas inverkan.

Kolförrådet i marken kommer i genomsnitt att öka med 7,3 % fram till år 2500. Medelkolförrådet i marken ligger idag på 0,083 ton kol/( ha år ). Markens medelkolförråd kommer att öka till 0,088 ton kol/( ha år ) i framtiden enligt kolbalanssimuleringarna. Visserligen kan det tyckas lite, men då kolförrådet i ursprungsbeståndet är så pass litet, kommer det endast ske en marginell ökning.

Under den första omloppstiden gallras och avverkas det totalt 535,2 ton kol/ha, räknat till samtliga bestånd. Fram till år 2500, kommer det att ske en ökning med 50,4 %, vilket innebär 805,1 ton kol/ha för barrskogsbestånden. Det betyder att man kan utvinna ungefär 50 % mer virke om cirka 500 år på lika stor areal som idag.

Nederbördens förändring kommer som nämnts vara näst intill obetydliga i södra delarna av Sverige. Men på grund av den förlängda växtsäsongen kommer vattenförbrukningen att öka, vilket kan leda till en minskad produktionseffekt på träden ( Bergh m.fl., 2000, 13 ).

Enligt simuleringen kommer temperaturökningen att bidra till högre produktion då växtsäsongen förlängs, men det kan också leda till att träden kommer att försöka minska eller stänga klyvöppningarna under varma perioder för att på så sätt minska vattenförlusten genom barren. Detta leder till minskad fotosyntes, då kommer bladen inte få tillräckligt med koldioxid till fotosyntesen.

### **5.3.1 Andra undersökningar på skogsbestånd**

Undersökningar på hur skogens markkolbalans förändrar kolinnehållet i ett skogsbestånd genomfördes av forskare i England och Frankrike. De kom fram till att uppskattningar på hur markens kolinnehåll förändras kan ge ett överdrivet resultat, samt att förändringar i markens kolinnehåll är mycket osäkra ( Grace, 2003 ). Dock visar undersökningarna att markens kolinnehåll ökar ungefär i samma utsträckning som mina simuleringar, medan biomassans kolinnehåll ökar snabbare i de undersökta skogarna i England och Frankrike.

Resultat i England och Frankrike visade att ett koldioxidutsläpp på 0,5 kg från en yta på 1 m<sup>2</sup> motsvarar en förhöjning av koldioxidkoncentrationen i atmosfären ovanför den undersökta markytan med ungefär 125 ppm ( IBID ).

Under 2002 utfördes experiment på Douglas gran vid Vancouver Island i Kanada ( Humphreys, m.fl. 2006 ). Studien undersökte hur beståndsålder och vådrets variationer inverkar på nettoflödet av koldioxid för tre olika utvecklingsområden för Douglas gran efter ett kalhygge. Vid samma väderförhållanden, visade det sig att nettoekosystemproduktionen (  $F_{NEP}$  ) över de studerade områdena kan variera mycket

från yngre till äldre bestånd. Skillnaderna i årlig  $F_{NEP}$  mellan bestånden var större än årsvariationer för ett enskilt bestånd ( IBID ). Undersökningen visade att de nyplanterade och unga granbestånden var en kolkälla (  $- 606 \text{ gram kol m}^{-2} \text{ år}^{-1}$  ) medan det äldsta beståndet var en kolsänka (  $+ 254 \text{ gram kol m}^{-2} \text{ år}^{-1}$  ) samt att det atmosfäriska utbytet av koldioxid varierade stort bland de tre olika bestånden. Detta illustrerar att det finns en relevant koppling mellan ett bestånds struktur och vädret, gentemot processerna av kolutbytet.

Dessa två, av varandra oberoende studier, visar att mina barrskogssimuleringar i viss utsträckning stämmer överens med mätningar utförda i naturen. Men man ska dock inte till fullo endast lita på datoriserade simuleringar, utan helst utföra experiment ute i undersökningsområdet så att man kan jämföra hur väl resultaten överensstämmer mot varandra.

## **5.4 Hur väl kan simuleringen stämma överens med framtiden?**

Frågan är hur väl framtidssimulationerna stämmer gentemot verkligheten. Simuleringarna påvisar en stor ökning av tillväxten hos barrträden vid maximal växthuseffekt. Dagens högsta granar kan nå en höjd på upp till 45 meter, medan för tall så gäller det 35 meter. Tillväxtökningen omräknat till ökning av ståndortsindex visar att träden kan nå upp till sin maximala höjd på bara 100 år. Den största anledningen till att det blev en så stor förändring är att simuleringsprogrammen inte är anpassade för en klimatförändring. Att skogen skulle förändras så pass mycket på så pass kort tid som simulationerna visar verkar vara en aning överdrivet.

Kolbalansen kommer nästan att fördubblas, vilket tyder på att bestånden måste bli betydligt mer aktiva vad gäller fotosyntes. Processen leder till att skogen kommer att ta upp 47,1 % mer kol i framtiden jämfört med dagens kolupptag. Fortsätter skogen vara en sänka kommer mer koldioxid att bindas.

Framtiden får utvisa hur skogarna kommer att reagera och anpassa sig mot en förhöjd koldioxidhalt, temperatur samt en längre tillväxtsäsong, vilket kan vara helt annorlunda jämfört med en simulering som bygger på modelleringar, parametrar, ekvationer och delvis antaganden och gissningar.

## **5.5 Hässleholms kommuns inverkan**

Resultaten från barrskogssimuleringarna visar att koldioxidökningen kommer få en märkbar effekt på barrträden då SRES A2 scenario tillämpas. Då en minskning av växthusgasernas utsläpp i naturen är ett frivilligt projekt inom kommunerna kommer man att följa de utsatta miljömålen inom kommunen ( Olsson, 2006 ).

Även om klimatförändringarnas påverkan inte blir så stora som i mina simuleringar, kommer en förändring att ske i skogarna. Kommunen kan använda sig av denna rapport för att se hur och var deras barrskogsbestånd kommer att förändra sig. Därefter kan de göra en utvärdering hur de ska vårda och sköta skogen i framtiden. Då träden

blir högre blir de mer utsatta för framtida stormskador. Detta leder till att en större beredskap behövs för de stormkänsligare träden vid kantzonerna ( IBID ). Detta kan också leda till att kommunen vill förkorta omloppstiden, för att träden ska bli kortare, samtidigt visar mina resultat på att omloppstiden bör förlängas för att maximera kolupptaget. Vilket alternativ som är lämpligast kan diskuteras, men det första alternativet handlar mest om pengar, medan det andra kan gälla vår framtid.

Kyotoprotokollets underskrift kommer inte ha en direkt inverkan på hur kommunen kommer att agera för att minska växthusgasutsläppen. Anledningen är att det inte finns något lagutrymme som godkänner en lokal förändring. En förändring av lagen kan bara ske på en nationell nivå, vilket behövs om lokala förändringar ska bli möjliga. Kommunen kan endast uppmuntra och inspirera industrierna och ge dem förmåner om de minskar sina växthusgasutsläpp ( IBID ).

En ökad biomassaproduktion kommer samtidigt göra skog- och träindustrin lycklig då de kommer ha mer tillgång till skogsbiomassa på lika stor areal som förr. En ökning för skogsindustrin kunde leda till att Hässleholms kommun köper in mer skogsmark för att på så sätt tjäna mer pengar ( IBID ). Med ökande intäkter för kommunen skulle man till exempel kunna använda pengarna för att minska de industriella utsläppen av växthusgaser.

## **5.6 Hur blir framtiden? Vad kan vi göra!?**

På vilka andra sätt skulle man kunna minska utsläppen av koldioxid än att kraftigt minska utsläppen från bilar och industrier? Ett av flera exempel skulle kunna vara en översyn på hur skogen ska skötas, med fler gallringar, längre omloppstid eller kanske ett skogsbruk utan kalhyggen. Då mycket koldioxid släpps ut i atmosfären vid ett kalhygge, skulle man istället kunna förändra skogsskötsel och se till att minska utsläppen genom att låta ett visst antal procent av träden stå kvar. Dessa kvarvarande träd kan då binda kol tills de nyplanterade träden själva gör området till en kolsänka. På detta sätt hade säkert en märkbar minskning av koldioxidutsläppen kunnat genomföras.

Det är nu man måste ta tag i problematiken med växthusgasutsläppen. Allt oftare ser man TV-program om den ökande växthuseffekten som bidrar till klimatet förändras. I nyheterna hör man om forskarnas varningar om klimathotet med en allt snabbare avsmältning av glaciärerna och av istäckena vid polarområdena. För sju - åtta år sedan så var det inte så mycket prat och diskussioner om växthuseffekten, som det är nu under de senaste 2 åren.

Visserligen är Kyoto-protokollet underskrivet, men mer och kraftigare åtgärder måste tillämpas och aktiveras. Det verkar just nu som om Kyoto-protokollet är en handling som är för lite, för sent. Nu tvingas vi säkert vänta fram till 2012 innan mycket kraftigare lagar införs så att en förändring angående människornas energiförbrukning och växthusgasutsläpp kan reduceras ytterligare. Annars hade man förmodligen inte



startat demonstrationer mot klimatförändringarna eller visat drastiska och skrämmande bilder på hur mycket planeten har förändrat på så kort tid som endast 20 - 25 år.

Under förra årets klimatkonferens i Kenya, ledda av FN, föreslog Achim Steiner, som är chef för FN:s miljöprogram att starta en kampanj. Under kampanjen uppmanades världens länder att tillsammans plantera över en miljard träd. På detta sätt hoppas man att kampanjen kommer bidra till en grönare och renare värld.

Om inget görs nu, kan det kanske redan nu vara försent för mänskligheten, då vi för länge sedan har överbefolkat vårt enda jordklot. Snart behövs det ett jordklot till för att människans hunger på naturtillgångar ska kunna tillfredställas.

En förhöjd medeltemperatur är en nyhet för den moderna människan, men absolut inte för naturens djur och växtliv. Medeltemperaturen har varit upp till 4 grader varmare på hela jordklotet visar olika mätningar tagna ur isbörnkärnor ( Petit m.fl., 1999 ). Dock har koldioxidhalten fluktuerat mellan 200 - 300 ppm de senaste miljoner åren fram till människans industrialisering ( SNA, 1995 ).

Inte sedan dinosaurierna härskade på jordklotet för ungefär 200 miljoner år sedan har koldioxidhalten varit så hög som framtidens koldioxidsimuleringar visar. På jätteödlornas tid låg koldioxidhalterna långt över 1000 ppm ( Baskin, 1994 ).

Emellertid ska det tilläggas att naturen aldrig har upplevt en så snabb förändring av koldioxidhalten i atmosfären som sker just nu. Detsamma gäller det för den globala temperaturökningen. Dock har en snabb global temperatursänkning för 65 miljoner år sedan bekräftats av forskare och vetenskapsmän världen över.

Klimatet har alltid varierat, de facto är att det har varit flera nedisningar och således kallare klimat under de senaste 2 - 2½ miljoner åren ( Petit m.fl., 1999 ). Just nu befinner vi oss i en interglacial period med varmare klimat ( SMHI, 2005 ). Med andra ord är vi på väg mot en ny kontinental nedisning.

De fyra senaste interglaciala perioderna varade mellan 8000 till 12000 år. Den nuvarande epoken, Holocen, har redan varat i lite mer än 10000 år ( SMHI, 2001 ).

Om nedisningarnas cykler fortsätter som de hittills har gjort, då borde en ny istid vara här om ungefär 3000 - 5000 år ( Planeten Jorden, 1983 ). Om den antropogena uppvärmningen av planeten kommer att skjuta upp, eller kanske till och med påskynda, den förväntade globala nedisningen kan bara framtiden utvisa.

## **6. Slutsats**

Arbetets slutsats kan sammanfattas med att koldioxidupptaget samt kolbalansen kommer att förändras avsevärt för Hässleholms barrskogar. Simuleringarna gav svar på hur koldioxidinnehållet och kolbalansen kan komma att se ut i framtiden. Dock hade det varit önskvärt att använda sig av ett mer avancerat program. Då hade man förmodligen kunnat göra en bättre koluppskattning. På så sätt hade man fått en mer realistisk simulering över barrskogens existens, framtid och överlevnad.

För att kunna bidra globalt till växthuseffektens reduktion, ligger ett överseende om hur kalhuggningen ska skötas på sin plats. Genomförs förändringarna kan en minskning möjligtvis ske snabbare.

Världens forskare och vetenskapsmän kalkylerar i stort sett endast koldioxid-simuleringen fram till och med år 2100. Motivet till detta är att en längre simulering är nästintill omöjlig att beräkna. Eventuellt hoppas forskarna att problemen med den globala uppvärmningen möjligtvis är löst innan nämnt datum? ( IPCC, 2001 ). Eller det värsta tänkbara scenariot, att det vid den tidpunkten inte finns någon återvändo, eftersom ekosystemen för länge sedan har imploderat och förstörts. Då vår planet, och livet som vi känner det, är bortom all möjlig räddning!?

Men förhoppningsvis ser framtiden inte så mörk och dystert ut för planeten. Säkerligen kommer allt att göras för att förhindra denna potentiella globala katastrof. En grönare, renare och vettigare framtid är att vänta, med all sannolikhet...

Om det skulle visa sig att mänskligheten misslyckas totalt med att rädda planeten från en gigantisk global katastrof, då kan vi alltid påskynda drömmen om att emigrera och kolonisera grannplaneten Mars!

## 7. Referenser

### 7.1 Litteratur

Ahlgren, A., 2003, Kommunstyrelsens ordförande, *Gagnefs kommuns miljömål. Miljöprogram 2003 - 2006.*

Ahrens, C. D., 2000, *Meteorology Today, an introduction to weather, climate and the environment.* Sixth edition, Brooks/Cole, Pacific Grove, USA.

Arnberg, W., Arnborg, S., Eklundh, L., Harrie, L., Hauska, H., Olsson, L., Pilesjö, P., Rystedt, B., Sandgren, U., 2001, *Geografisk Informationsbehandling – Metoder och tillämpningar.* Byggforskningsrådet, Borås.

Baskin, Y., 1994, *Forest in the Gas.* Discover Magazine, 15, nr. 10.

Baumert, K. A., 2006, *Participation of developing countries in the international climate change regime: Lessons for the future.* The George Washington journal of international law and economics, 38, nr 2, s 365 – 407.

Bergh, J., Flemberg, S., Kindberg, J., Linder, S., Räisänen, J., Strömgren, M., Wallin, G., 2000, *Framtida klimatförändringar – tänkbara effekter på den svenska skogen.* Fakta Skog nr 13. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Bergh, J., Linder, S., Morén, A-S., Grelle, A., Lindroth, A., Roberntz, P., 2000, *Skogens kolbalans – många faktorer inverkar.* Fakta Skog nr 15, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Berveiller, D., Kierzkowski, D., Damesini, C., 2006, *Interspecific variability of stem photosynthesis among tree species.* Heron Publishing - Victoria, Canada, Tree Physiology 27, s 53 – 61.

Björn, L. O., Callaghan, T., Jonasson, S., Jonsdottir, I-S., Melillo, J., Molau, U., Neill, C., Rapp, A., Schlyter, P., Tenow, O., 2000, *Fjällens ekosystem i ett förändrat klimat,* Naturvårdsverket, rapport 5085, Kalmar.

Cannell, M. G. R., Dewar, R. C., 1994, *Carbon allocation in trees: A review of concepts for modelling.* In *Advances in Ecological Research.* Advances in Ecological Research, 25. Academic Press, London.

CO2FIX v 3.1, 2004, Description of the model. *A modeling framework for quantifying carbon sequestration in forest ecosystems.*

Ekö, P. M., 1999, *ProdMod2,* Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, Skogforsk, SLU, Alnarp.

Ekö, P., M., 1985, *En produktionsmodell för skog i Sverige, baserat på bestånd från riksskogstaxeringens provytor*. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel. Rapporter nr. 16.

Finnish Forest Research Institute ( FFRI ), 2002, *The Finnish Statistical Yearbook of Forestry 2001*. Helsinki, Finland.

Forsse, L. S., 2005, *Nya värdekedjor i skogen*. Nordisk skogskonferens, Danmark, augusti 29 – 30.

Gallringsmallar, södra Sverige, 1999, *Skogsstyrelsen*, Vimmerby.

Grace, J., 2003, *Carbo-Age, Age-related dynamics of carbon exchange in European forests*. European Commission General Directorate XII 5th Framework.

Girardet, H., 2006, *Save the Forest, Save the Planet*. New Renaissance magazine, 2, 2.

Humphreys, E. R., Black, T. A., Morgenstern, K., Cai, T., Drewitt, G. B., Nesic, Z., Trofymow, J. A., 2006, *Carbon dioxide fluxes in coastal Douglas-fir stands at different stages of development after clearcut harvesting*. Agricultural and Forest Meteorology 140. s 6 – 22.

Houghton, R. A., och Woodwell, G. M., 1993. Warming the North: What happens? In *Carbon Cycling in Boreal Forests and Sub-Arctic Ecosystems*. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, 1-8. Washington DC: GPO.

Hägglund, B., Karlsson, C., Remröd, J., Sirén, G., 1979, *Contortatallens produktion i Sverige och Finland*. SLU, Hugin-rapport nr 13.

Ingemarson, F., 2004, *Har skogen mer att ge? - Analysverktyg för framtidens miljö, produktion och sociala värden*. Heureka-programmets årsrapport, Rapport 20, Umeå 2005.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001; *Third Assessment Report - Climate Change 2001: Synthesis Report, Summary for Policymakers*, 5, 7. FN:s klimatpanel, Cambridge University press, New York, USA.

Jonhäll, B., 2004, *Regional demokrati – Skåne och Västra Götaland*, Warne Förlag, Vänersborg.

Jonson, B., 1980, *Funktioner för långsiktiga prognoser beträffande virkesförådets storlek och sammansättning*. SLU, Institutionen för biometri och skogsindelning, rapport, nr 7.

Kellomäki, S., Väisänen, H., Hänninen, H., Kolström, T., Lauhanen, R., Mattila, U., Pajari, B., 1992, *SIMA: a model for forest succession based on the carbon and nitrogen cycles with application to silvicultural management of the forest ecosystem*. *Silva Carelica* 22. s 91.

Koivisto, P., 1959, *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae, 51. Growth and yield tables*. s 1 - 44. Finnish Forest Research Institute. Helsinki, Finland.

Lagergren, F., Grelle, A., Lankreijer, H., Mölder, M., Limdroth, A., 2006, *Current carbon balance of the forested area in Sweden and its sensitivity to global change as simulated by Biome-BGC*. *Ecosystems*, 9, s 894 – 908.

Lambers. H., Chapin III, F. S., Pons, T. L., 1998, *Plant physiological ecology*. Springer - Verlag, New York Inc, USA.

Lantmäteriet, 2003, *National report from SWEDEN to the 42<sup>nd</sup> meeting of the Civil GPS Service Interface Committee in Portland, Oregon, CGSIC Meeting*.

Lamblom, S. H., och Savidge, R. A., 2003, *A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species*. *Biomass and Bioenergy*, 25, Number 4, s 381 - 388.

Liski, J., Perruchoud, D., Karjalainen, T., 2002, *Increasing carbon stocks in the forest soils of western Europe*. *Forest Ecology and Management* 169: 163 - 179.

Liski, J., Nissinen, A., Erhard, M., Taskinen, O., 2003, *Climatic effects on litter decomposition from arctic tundra to tropical rainforest*. *Global Change Biology* 9: s 575 - 584.

Long, S. P., Ainsworth, E. A., Rogers, A., Ort, D. R., 2004, *Rising atmospheric carbon dioxide: plants FACE the future*. *Plant Biology*, 55, s 591 – 628.

Malhi, Y., Baldocchi, D., Jarvis, P., G., 1999, *The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests*. *Plant Cell Environ.* 22, s 715 – 740.

Marklund, L. G., 1988, *Biomassfunktioner för tall gran och björk i Sverige*. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogstaxering, Rapport 45.

McVay, K. A., och W. Rice, C. W., 2002, Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. *Soil Organic Carbon and the Global Carbon Cycle*. Department of Agronomy MF - 2548 Carbon Series.

Miljöteknikdelegationen, 2001, *Marknadsanalys i Nederländerna - efterfrågan på produkter som minskar utsläpp av växthusgaser*. Exportrådet Haag, Rapport 2000:9.

Mohren, G. M. J., Nabuurs, G., J., Schelhaas, M., J., 2003, *CASFOR Project II: Modelling Carbon Sequestration in Forested Landscapes*. CO2 FIX v 3.1.0

Morén, A., Grelle, A., Lindroth, A., 2000, *Kolbalansen i svenska skogar*, FAKTA Skog. Nr 2, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Nationalencyklopedin, 1994, *Ribulosbisfosfatkarboxylas-oxygenas*. Bra böcker AB, Höganäs, Sverige.

Nabuurs, G. J., Garza-Caligaris, J. F., Kanninen, M., Karjalainen, T., Lapvetelainen, T., Liski, J., Maser, O., Mohren, G. M. J., Pussinen, A., Schelhaas M. J., 2002, *CO2 FIX v2.0 – manual of a model for quantifying carbon sequestration in forest ecosystems and wood products*. Wageningen, ALTErrA report 445, s 45.

Nakane, K., Nakatsubo, T., Horikoshi, T., Uchida, M., 1998, *Contribution of micro-organisms of the carbon dynamics in black spruce (Picea mariana) forest soil in Canada*. Department of Environmental Studies, Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University, Kagamiyama 1-7-1, Higashi - Hiroshima 739, Japan. *Ecological Research* 13, s 17 - 26.

Petit, J. R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N. I., Barnola J. M., Basile I., Bender M., Chappellaz J., Davis J., Delaygue G., Delmotte M., Kotlyakov V. M., Legrand M., Lipenkov V., Lorius C., Pépin L., Ritz C., Saltzman E., Stievenard M., 1999, *Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 years from the Vostok Ice Core*. Antarctica, *Nature*, 399, s 429 - 436.

Planeten Jorden, 1983, *Istider*. TimeLife böcker, Amsterdam.

Raghavendra, A. S., 1991, *Physiology of trees*. Wiley-Interscience publication, John Wiley & Sons, Inc, USA.

Rummukainen, M., 2002, *Äntligen – flera nya svar på frågan om klimatet i Sverige om 100 år*. SWECLIM:s årsrapport.

Schlessinger, W., H., 1997, *Biogeochemistry – an analysis of global change*. Second edition, academic press, USA.

Singhal, G. S., Renger, G., Sopory, S., K., Irrgang, K-D., 1999, *Concepts in Photobiology: Photosynthesis and Photomorphogenesis*. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA, s. 11 - 51.

SMHI, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, *Frågor och svar*, 2000 2001, 2005.

SNA – Sveriges National Atlas, 1995, *Klimat, sjöar & vattendrag*. LM Kartor, Kiruna.

Sobek, S., 2005, *Skogens sjöar - ingen buffert*. Forskning & Framsteg s 50 - 52, 2005/07.

Stripple, H., 2002, *Tillämpningar av klimatmål och Kyotoprotokollet - en allmän konsekvensanalys med branschexempel*. ILV rapport, ILV Svenska Miljöinstitutet AB, Göteborg.

Sverdrup, H., Stjernquist, I., 2002, *Developing Principles and Models for Sustainable Forestry in Sweden*. Kluwer Academic Publishers, Nederländerna.

Valentini, R., Matteucci, G., Dolman, A., J., Schulze, E., D., Rebmann, C., Moors, E.J., Granier, A., Gross, P., Jensen, N. O., Pilegaard, K., Lindroth, A., Grelle, A., Bernhofer, C., Grünwald, T., Aubinet, M., Ceulemanns, R., Kowalski, A.S., Vesala, Rannik, U Berbigier, P., Loustau, D., Gudmundsson, J., Thorgeirsson, H., Ibrom, A., Morgenstern, K., Clement, R., Moncrieff, J., Montagnani, L., Minerbi, S., Jarvis, P.G., 2000, *Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests*. Nature 404, s 861 – 865.

## **7.2 Muntliga källor**

Lagergren, F., 2006, forskningsingenjör vid INES.

Olsson, P., 2005 / 2006, kommunekolog i Hässleholms kommun.

Hermansson, P., 2006, distriktschef vid Skogsstyrelsen, Skåne Nordost.

## **7.3 E-post korrespondens**

Prof. Mohren, G. M. J., 2006, Wageningen University and Research Center Forest Ecology and Forest Management Group.

Wilhelmsson, L., 2006, Programledare - Virke – Skogforsk.

## **7.4 Internetkällor**

Skogforsk, kunskap direkt, varför gallra?

[www.skogforsk.se/KunskapDirekt/default.aspx?p=11498&bmp=11727](http://www.skogforsk.se/KunskapDirekt/default.aspx?p=11498&bmp=11727) 05-08-19

Skogsstyrelsen

[www.skogsstyrelsen.se](http://www.skogsstyrelsen.se) 06-03-22

Barnaturskog

[www.svo.se/minskog/templates/Page.asp?id=12391](http://www.svo.se/minskog/templates/Page.asp?id=12391) 05-11-20

Riksskogstaxeringen

[www-riksskogstaxeringen.slu.se](http://www-riksskogstaxeringen.slu.se) 06-03-22

Woods Hole Research Center

[www.whrc.org/carbon/missingc.htm](http://www.whrc.org/carbon/missingc.htm) 07-02-07

Lunds Universitets Naturgeografiska institution. Seminarieuppsatser. Uppsatserna finns tillgängliga på Naturgeografiska institutionens bibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND. Serie startade 1985.

The reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography, University of Lund, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden. Report series started 1985.

79. Ullman, M., (2001): El Niño Southern Oscillation och dess atmosfäriska fjärrpåverkan.
80. Andersson, A., (2001): The wind climate of northwestern Europe in SWECLIM regional climate scenarios.
81. Laloo, D., (2001): Geografiska informationssystem för studier av polyaromatiska kolväten (PAH) – Undersökning av djupvariation i BO01-området, Västra hamnen, Malmö, samt utveckling av en matematisk formel för beräkning av PAH-koncentrationer från ett kontinuerligt utsläpp.
82. Almqvist, J., Fergéus, J., (2001): GIS-implementation in Sri Lanka. Part 1: GIS-applications in Hambantota district Sri Lanka : a case study. Part 2: GIS in socio-economic planning : a case study.
83. Berntsson, A., (2001): Modellering av reflektans från ett sockerbetsbestånd med hjälp av en strålningsmodell.
84. Umegård, J., (2001): Arctic aerosol and long-range transport.
85. Rosenberg, R., (2002): Tetratermmodellering och regressionsanalyser mellan topografi, tetraterm och tillväxt hos sitkagran och lärk – en studie i norra Island.
86. Håkansson, J., Kjörning, A., (2002): Uppskattning av mängden kol i trädform – en metodstudie.
87. Arvidsson, H., (2002): Coastal parallel sediment transport on the SE Australian inner shelf – A study of barrier morphodynamics.
88. Bemark, M., (2002): Köphultssjöns tillstånd och omgivningens påverkan.
89. Dahlberg, I., (2002): Rödlistade kärllväxter i Göteborgs innerstad – temporal och rumslig analys av rödlistade kärllväxter i Göteborgs artdatabank, ADA.
90. Poussart, J-N., (2002): Verification of Soil Carbon Sequestration - Uncertainties of Assessment Methods.
91. Jakubaschk, C., (2002): Acacia senegal, Soil Organic Carbon and Nitrogen Contents: A Study in North Kordofan, Sudan.
92. Lindqvist, S., (2002): Skattning av kväve i gran med hjälp av fjärranalys.
93. Göthe, A., (2002): Översvämningskartering av Vombs ängar.
94. Lööf, A., (2002): Igenväxning av Köphultsjö – bakomliggande orsaker och processer.
95. Axelsson, H., (2003): Sårbarhetskartering av bekämpningsmedels läckage till grundvattnet – Tillämpat på vattenskyddsområdet Ignaberga-Hässleholm.
96. Hedberg, M., Jönsson, L., (2003): Geografiska Informationssystem på Internet – En webbaserad GIS-applikation med kalknings- och försurningsinformation för Kronobergs län.
97. Svensson, J., (2003): Wind Throw Damages on Forests – Frequency and Associated Pressure Patterns 1961-1990 and in a Future Climate Scenario.



98. Stroh, E., (2003): Analys av fiskrättsförhållandena i Stockholms skärgård i relation till känsliga områden samt fysisk störning.
99. Bäckstrand, K., (2004): The dynamics of non-methane hydrocarbons and other trace gas fluxes on a subarctic mire in northern Sweden.
100. Hahn, K., (2004): Termohalin cirkulation i Nordatlanten.
101. Lina Möllerström (2004): Modelling soil temperature & soil water availability in semi-arid Sudan: validation and testing.
102. Setterby, Y., (2004): Igenväxande hagmarkers förekomst och tillstånd i Västra Götaland.
103. Edlundh, L., (2004): Utveckling av en metodik för att med hjälp av lagerföljdsdata och geografiska informationssystem (GIS) modellera och rekonstruera våtmarker i Skåne.
104. Schubert, P., (2004): Cultivation potential in Hambantota district, Sri Lanka
105. Brage, T., (2004): Kvalitetskontroll av servicedatabasen Sisyla
106. Sjöström., M., (2004): Investigating Vegetation Changes in the African Sahel 1982-2002: A Comparative Analysis Using Landsat, MODIS and AVHRR Remote Sensing Data
107. Danilovic, A., Stenqvist, M., (2004): Naturlig föryngring av skog
108. Materia, S., (2004): Forests acting as a carbon source: analysis of two possible causes for Norunda forest site
109. Hinderson, T., (2004): Analysing environmental change in semi-arid areas in Kordofan, Sudan
110. Andersson, J., (2004): Skånska småvatten nu och då - jämförelse mellan 1940, 1980 och 2000-talet
111. Tränk, L., (2005): Kadmium i skånska vattendrag – en metodstudie i föroreningsmodellering.
112. Nilsson, E., Svensson, A.-K., (2005): Agro-Ecological Assessment of Phonxay District, Luang Phrabang Province, Lao PDR. A Minor Field Study.
113. Svensson, S., (2005): Snowcover dynamics and plant phenology extraction using digital camera images and its relation to CO<sub>2</sub> fluxes at Stordalen mire, Northern Sweden.
114. Barth, P. von., (2005): Småvatten då och nu. En förändringsstudie av småvatten och deras kväveretentionsförmåga.
115. Areskoug, M., (2005): Planering av dagsutflykter på Island med nätverkanalys
116. Lund, M., (2005): Winter dynamics of the greenhouse gas exchange in a natural bog.
117. Persson, E., (2005): Effect of leaf optical properties on remote sensing of leaf area index in deciduous forest.
118. Mjöfors, K., (2005): How does elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration affect vegetation productivity?
119. Tollebäck, E.,(2005): Modellering av kväveavskiljningen under fyra år i en anlagd våtmark på Lilla Böslid, Halland
120. Isacson, C., (2005): Empiriska samband mellan fältdata och satellitdata – för olika bokskogområden i södra Sverige.
121. Bergström, D., Malmros, C., (2005): Finding potential sites for small-scale Hydro Power in Uganda: a step to assist the rural electrification by the use of GIS

122. Magnusson, A., (2005): Kartering av skogsskador hos bok och ek i södra Sverige med hjälp av satellitdata.
123. Levallius, J., (2005): Green roofs on municipal buildings in Lund – Modeling potential environmental benefits.
124. Florén, K., Olsson, M., (2006): Glacifluviala avlagrings- och erosionsformer I sydöstra Skåne – en sedimentologisk och geomorfologisk undersökning.
125. Liljewalch-Fogelmark, K., (2006): Tågbuller i Skåne – befolkningens exponering.
126. Irminger Street, T., (2006): The effects of landscape configuration on species richness and diversity in semi-natural grasslands on Öland – a preliminary study.
127. Karlberg, H., (2006): Vegetationsinventering med rumsligt högupplösande satellitdata – en studie av QuickBirddata för kartläggning av gräsmark och konnektivitet i landskapet.
128. Malmgren, A., (2006): Stormskador. En fjärranalytisk studie av stormen Gudruns skogsskador och dess orsaker.
129. Olofsson, J., (2006): Effects of human land-use on the global carbon cycle during the last 6000 years.
130. Johansson, T., (2006): Uppskattning av nettoprimärproduktionen (NPP) i stormfällen efter stormen Gudrun med hjälp av satellitdata.
131. Eckeskog, M., (2006) Spatial distribution of hydraulic conductivity in the Rio Sucio drainage basin, Nicaragua.
132. Lagerstedt, J., (2006): The effects of managed ruminants grazing on the global carbon cycle and greenhouse gas forcing.
133. Persson, P., (2007) Investigating the Impact of Ground Reflectance on Satellite Estimates of Forest Leaf Area Index