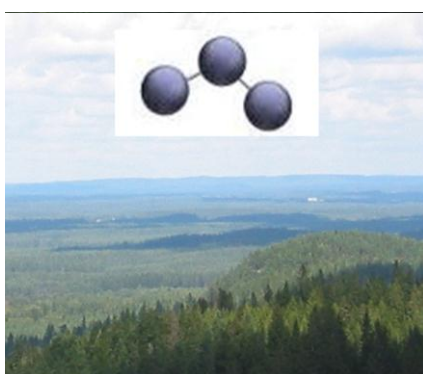


En ekonomisk utvärdering av inverkan av marknära ozon på växtligheten i Sverige

En uppdatering i samband av den fördjupade utvärderingen av miljökvalitetsmålet Frisk Luft



Per Erik Karlsson, Helena Danielsson, Håkan Pleijel, Magnuz Engardt, Camilla Andersson, Mikael Andersson

Författare: Per Erik Karlsson IVL Svenska Miljöinstitutet, Helena Danielsson IVL Svenska Miljöinstitutet, Håkan Pleijel Göteborgs Universitet, Magnuz Engardt SMHI, Camilla Andersson SMHI, Mikael Andersson, Sveriges Lantbruksuniversitet SLU.

Medel från: Naturvårdsverket

Fotograf: Per Erik Karlsson

Rapportnummer: C 59

Upplaga: Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2014

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel: 08-598 563 00 Fax: 08-598 563 90

www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
Summary	6
1 Inledning.....	8
2 Syfte.....	8
3 Bakgrund.....	8
4 Genomförande	9
4.1 Generella aspekter.....	9
4.2 Beräkning av ozonförekomst och växtlighetens exponering	10
4.2.1 Timvisa ozonhalter	10
4.2.2 Scenario där preciseringen för ozon och växtlighet inte överskrids.....	15
4.2.3 Ozonexponering skog.....	15
4.2.4 Jordbruksgrödor	19
4.3 Dos-respons relationer för ozonpåverkan.....	21
4.3.1 Generellt om dos – respons relationer	21
4.3.2 Dos-responsrelationer för skog	21
4.3.3 Dos-responsrelationer för jordbruksgrödor	29
4.4 Markanvändning	30
4.4.1 Skog.....	30
4.4.2 Jordbruksgrödor	31
4.5 Produktion och prisuppgifter	33
4.5.1 Skoglig produktion.....	33
4.5.2 Skogliga prisuppgifter	35
4.5.3 Produktion jordbruksgrödor	35
4.5.4 Prisuppgifter jordbruksgrödor	36
4.6 Beräkningar	37
4.6.1 Generella aspekter på de ekonomiska värderingarna	37
4.6.2 Beräkningarna	39
5 Resultat	40
5.1 Skog	40

5.1.1	Beräkningar nationellt samt för landsdelar.....	40
5.1.2	Beräkningar för värst ozonutsatta områden.....	43
5.2	Jordbruksgrödor	45
5.2.1	Skördeförluster	45
5.2.2	Ekonomiska förluster.....	46
5.3	Sammanlagd ekonomisk värdering av ozonets negativa inverkan på jordbruksgrödor och skog i Sverige.....	49
6	Diskussion av resultaten	49
6.1	Markanvändning samt skoglig- och jordbruksstatistik	49
6.2	Yttäckande beräkningar av ozonbelastningar	49
6.3	Kvantitativa effektbedömningar	50
6.4	Icke-monetära värden	50
7	Referenser	51
8	Bilaga 1. Beskrivning av inverkan av ozon på kolupplagringen i den svenska skogen.....	54
9	Bilaga 2. Beskrivning av en metodik där modellresultaten från MATCH-modellen kombineras med kontinuerliga ozonobservationer	58
10	Bilaga 3. Ett exempel på sambanden mellan inverkan på slutlig biomassa och inverkan på tillväxthastighet.....	61
11	Bilaga 4. En detaljerad beskrivning av priser och kostnader inom skogsbruket.....	62
12	Bilaga 5. En detaljerad beskrivning av priser och kostnader inom jordbruket	66

Sammanfattning

Med finansiering från Naturvårdsverket har forskare från IVL, SMHI, Göteborgs Universitet samt SLU genomfört en analys av de ekonomiska värdena av den negativa inverkan av marknära ozon på växtligheten i Sverige vid olika scenarier för ozonbelastning och i relation till föreslagna målvärden vad gäller preciseringen för ozon och växtlighet inom miljömålet *Frisk Luft*. Arbetet utgör i stor utsträckning en uppdatering av en tidigare studie från 2006 (Karlsson m. fl., 2006a).

Tre olika scenarier för ozonbelastning analyserades:

1. Nuvarande ozonbelastning (2006-2012).
2. Ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inom miljömålet *Frisk Luft* inte överskrids vid någon plats i landet.
3. Ett förindustriellt scenario i avsaknad av ozonbelastning, dvs där ozonhalten $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aldrig överskreds och där AOT40 april-september således var noll över hela Sverige.

Uppskattningar har gjorts för tillväxten hos några viktiga trädslag samt för skördeutbytet för vissa viktiga jordbruksgrödor.

Utifrån en genomgång av ny vetenskaplig kunskap som framkommit sedan den föregående studien 2006, föreslås en höjning av den negativa ozoneffekten på stamtillväxten hos gran från -2 % till -5 % per 20 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar AOT40 april-september. AOT40 20 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar är en vanligt förekommande nivå på ozonbelastningen vid utsatta platser i södra Sverige. För tall föreslås samma ozoneffekt på stamtillväxten som hos gran. För lövträd föreslås att ozoneffekten på stamtillväxten kvarstår på -8 % per 20 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar AOT40 april-september.

Dos-respons-relationerna för vete inom konventionen om gränsöverskridande luftföroreningar (LRTAP) har i viss utsträckning uppdaterats sedan 2006. På grund av dessa uppdateringar har dos-responssambandet för vete förändrats något jämfört med föregående studie. Förändringen är dock av mycket liten betydelse för tolkningen av resultaten.

Nuvarande ozonbelastning 2006-2012 beräknades minska skogstillväxten som ett summerat värde för alla landsdelar och trädslag i Sverige med $2.9 \text{ Mm}^3 \text{ år}^{-1}$, i jämförelse med ett förindustriellt scenario i avsaknad av ozonbelastning, vilket motsvarar en procentuell minskning av tillväxten på -3.2 %. Detta värde varierade mellan -1.6 och -4,9 %, beroende på landsdel och trädslag. I ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inom miljömålet *Frisk Luft* inte överskrids reducerades den negativa inverkan av ozon till ett medelvärde på -1.2 %, och varierade mellan -0.6 och -2.1 %.

Det ekonomiska värdet av den minskade skogstillväxten beroende på nuvarande ozonbelastning beräknades till 733 MSEK år⁻¹, ett värde som är mer än dubbelt så högt jämfört med motsvarande värde som beräknades vid den tidigare studien 2006. Skillnaden beror på att den ozonbelastning som beräknades över Sverige var högre i den nya studien, särskilt i norra Sverige, men framför allt beror det på höjning av den negativa ozoneffekten på stamtillväxten hos gran och tall. I det scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inom miljömålet Frisk Luft inte överskrids beräknades det ekonomiska värdet för tillväxtnedsättningen orsakad av ozon till 293 MSEK år⁻¹, det vill säga mer än en halvering jämfört med nuvarande ozonbelastning.

De summerade skördeförlusterna beroende på nuvarande ozonbelastning vad gäller alla sädeslag för alla delar av Sverige beräknades separat för olika år och uppgick till som högst 88 kton för 2006 och till 6 kton för 2008. Motsvarande värden för potatis uppgick till 52 kton för 2006 och till 14 kton för 2012. De beräknade ekonomiska värdena för dessa summerade skördenedsättningar beräknades till i medeltal 180 MSEK år⁻¹. Mellanårsvariationen var dock stor och för 2006 beräknades ett samlat värde av 420 MSEK år⁻¹. För ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inom miljömålet *Frisk Luft* inte överskrids beräknades ett samlat värde av ozonets negativa inverkan på skördeutbytet till i medeltal 74 MSEK år⁻¹.

Sammantaget beräknades det ekonomiska värdet för inverkan av nuvarande ozonbelastning på skogstillväxt och skördebortfall inom jordbruket i Sverige till 913 MSEK år⁻¹. Motsvarande värde för ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inom miljömålet Frisk Luft inte överskrids vid någon plats i landet uppgick till 367 MSEK år⁻¹. I bägge fallen gäller en jämförelse med ett förindustriellt scenario i avsaknad av ozonbelastning, dvs när ozonkoncentrationerna aldrig överskred 80 µg/m³ (40 ppb).

Tabell S1. De beräknade ekonomiska värdena (MSEK/år) för en tillväxtnedsättning i den svenska skogen respektive ett skördebortfall i det svenska jordbruket orsakat av ozonbelastningen i två olika scenarier; 1. Den nuvarande ozonbelastningen 2006-2012; 2. Ett scenario där det nuvarande målvärdet för ozon och växtlighet inom miljömålet Frisk Luft inte överskrids vid någon plats i Sverige. Jämförelserna görs med ett förindustriellt ozonsscenario där AOT40 = 0, dvs där ozonhalten 80 µg/m³ (40 ppb) aldrig överskrids.

MSEK/år	Nuvarande ozonbelastning	Scenario där målvärdet ej överskrids
Skogstillväxt	733	293
Skördebortfall	180	74
Totalt	913	367

Summary

Scientists from Swedish Environmental Research Institute (IVL), Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), University of Gothenburg and Swedish University of Agricultural Sciences (SLU) have made an updated economic evaluation of the negative consequences of groundlevel ozone on forest- and agricultural production in Sweden.

The analysis was made based on three different ozone scenarios:

1. Current ozone concentrations (2006-2012).
2. A scenario where the target value used within the Swedish Environmental Objectives, 10 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hours AOT40 April-September, is not exceeded anywhere in Sweden
3. A pre-industrial scenario where AOT40 April-September was zero all over Sweden.

The economic evaluation was made for the ozone impacts on forest and agricultural production, where scenarios 1 and 2 above were compared to the pre-industrial ozone scenario.

Based on new scientific knowledge since the previous report (Karlsson et al., 2006), a revised value for the negative impacts of ozone on the growth rates of Norway spruce and Scots pine was suggested, from -2 % to -5 % per 20000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hours AOT40 Apr-Sept. AOT40 Apr-Sept 20000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hours is a common value for vegetation ozone exposure in southern Sweden. For deciduous trees, the previously used value of for ozone growth was suggested to remain at -8 % per 20000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hours AOT40 Apr-Sept.

The dose-response relationships for wheat used within the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (LRTAP) have to some extent been updated since 2006. These updated relationships were used in this new study. However, the differences as compared to previous versions are small.

The current ozone concentrations 2006-2012 were estimated to reduce the forest growth in Sweden as a summed value across all regions and tree species by 2.9 $\text{Mm}^3 \text{yr}^{-1}$, corresponding to a growth reduction of -3.2 %. Across different regions and tree species, these values ranged -1.6 - -4.9 %. In the scenario where the target value used within the Swedish Environmental Objectives was not exceeded, the mean growth corresponded to a growth reduction of -1.2 %, ranging -0.6 – 2.1 %.

In the previous study, the economic value of the current ozone levels, as compared to pre-industrial level, on forest growth across all regions and species was estimated to 340 MSEK/yr. In the new study, this value increased to 733

MSEK/yr, a value more than twice as high. The main differences between the previous and the new calculations are higher estimated values for AOT₄₀ in northern Sweden, stronger dose-response relationships and to some extent higher prices and overall growth rates. In the scenario where the target value used within the Swedish Environmental Objectives is not exceeded, the calculated economic value of the growth reductions was estimated to 293 MSEK/yr, i.e. reduced more than 50 % compared to the current ozone scenario.

The summed crop yield losses for all regions and species due to the current ozone concentrations were estimated separately for different years. It was 88 kton for the highest year 2006 while it was estimated to 6 kton for the lowest year 2008. The corresponding values for potato were 52 kton for 2006 and 14 kton for 2012. At current ozone concentrations the summed economic value for the yield reductions across all crops was estimated to an average value of 180 MSEK/yr. The between-year variation was large and for the year 2006 the estimated value was more than 420 MSEK/yr. For the scenario where the target value for ozone within the Swedish Environmental Objectives was not exceeded the summed economic value for the crop yield reductions declined to an average value of 74 MSEK/yr.

Taken together the estimated economic value of forest growth reductions and agricultural crop yield losses due to current ozone concentrations in Sweden 2006-2012 were estimated to 913 MSEK/yr. The corresponding value for the scenario where the target value for ozone within the Swedish Environmental Objectives was not exceeded was 367 MSEK/yr. The estimates were made by comparison with the pre-industrial ozone levels, where the ozone concentrations never exceeded 80 µg/m³ (40 ppb).

Table S2. The estimated economic values (MSEK/yr) for the forest growth reductions and crop yield losses caused by current ozone concentrations as well as the ozone concentrations in a scenario where the target value for ozone within the Swedish Environmental Objectives was not exceeded. Comparisons were made with a pre-industrial ozone scenario where the values for AOT₄₀ were zero across Sweden.

MSEK/yr	Current ozone concentrations	Scenario where the target value was not exceeded
Forest growth	733	293
Crop yields	180	74
Total	913	367

1 Inledning

I en tidigare studie finansierad av Naturvårdsverket samt det MISTRA-finansierade ASTA programmet (Karlson m. fl., 2006a) gjordes en uppskattning av skadekostnaderna av marknära ozon på växtligheten i Sverige i ekonomiska termer i relation till föreslagna miljömål. Den då beräknade ozonbelastningen var representativ för en tidsperiod 1990 – 2004. Denna uppskattning är nu i behov av en uppdatering.

Med finansiering från Naturvårdsverket (avtal 2251-14-007) har forskare från IVL, SMHI, Göteborgs Universitet och SLU genomfört en uppdaterad analys av de ekonomiska värdena av den negativa inverkan av marknära ozon på växtligheten i Sverige vid olika scenarier för ozonbelastning.

2 Syfte

Syftet med föreliggande rapport var att uppdatera en tidigare studie av de ekonomiska värdena av den negativa inverkan av marknära ozon på växtligheten i Sverige vid tre olika scenarier för ozonbelastning;

1. Nuvarande ozonbelastning (2006-2012).
2. Ett scenario där preciseringen för ozon och växtlighet inom miljömålet Frisk Luft inte överskrider någonstans i Sverige.
3. Ett scenario motsvarande förindustriell ozonbelastning, där ozonhalterna aldrig överskred $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (40 ppb) och där AOT₄₀ apr-sep således var noll över hela Sverige.

Uppskattningar har gjorts för tillväxten hos några viktiga trädslag samt för skördeutbytet för vissa viktiga jordbruksgrödor. Dessa effekter har värderats i aktuella monetära termer.

3 Bakgrund

Ozon nära marken påverkar växter bland annat genom att förändra fördelningen av kol inom växten samt att orsaka ett för tidigt åldrande av blad och barr. Detta resulterar i sin tur i ett skördebortfall för olika jordbruksgrödor beroende på omgivningshalter i södra Sverige beräknats uppgå till 15 % samt en nedsättning av tillväxthastigheten hos barr- och lövträd på mellan 2 och 8 % (Karlsson m. fl., 2009). Ozon har dessutom en begränsande inverkan på kolupplagringen i de svenska skogsekosystemen. Mekanismerna för detta beskrivs utförligt i Bilaga 1.

Förekomsten av ozon i Sverige regleras i såväl Miljökvalitetsnormer, baserat på EU-direktiv (EU, 2008), samt miljökvalitetsmålet Frisk Luft. Preciseringen

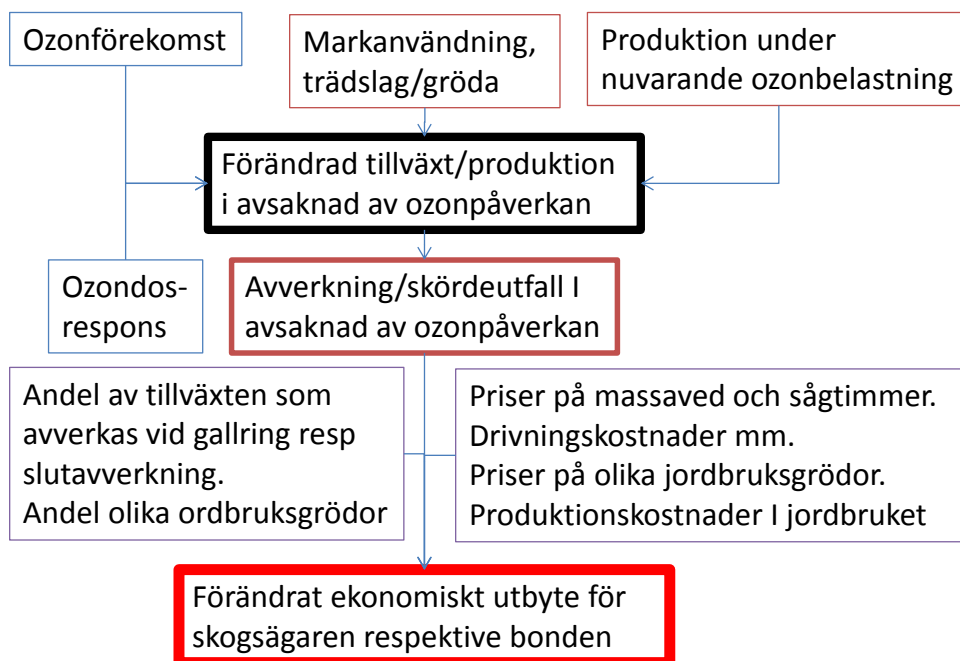
inom Frisk Luft vad gäller ozon och växtlighet lyder ”marknära ozon överstiger inte 10 000 mikrogram per kubikmeter luft under en timme beräknat som ett AOT40-värde under perioden från och med april till och med september”.

4 Genomförande

4.1 Generella aspekter

Kvantitativa bedömningar av ozons negativa inverkan på växtligheten involverar betydande osäkerheter, i synnerhet vad gäller skog. Ozons inverkan på jordbruksgrödor är mer välgrundad, eftersom det finns ett omfattande experimentellt dataunderlag och översättnings-problematiken till fältmässiga förhållanden är relativt liten. Skog har långa livscyklar och eftersom träd kan nå en avsevärd storlek, är det experimentella underlaget vad gäller dessa livsformer begränsat. Vad gäller naturlig vegetation, förutom skog, finns i stort sett ingen kvantitativ information tillgänglig. Kvantitativa bedömningar av ozonets inverkan på naturlig vegetation inkluderas därför inte i denna studie.

En illustration av den övergripande tillvägagången inom nuvarande studie visas i Figur 1.



Figur 1. En illustration av övergripande tillvägagång när det gäller att beräkna inverkan av olika ozonbelastning på det ekonomiska värdet av skogs- och jordbruksproduktion.

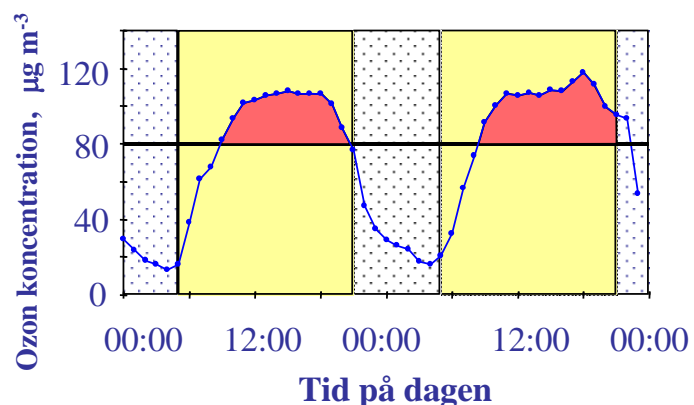
Den yttäckande ozonförekomsten beräknas med hjälp av modellsimuleringar. Markanvändning och produktion kartläggs med hjälp av uppgifter från den tidigare studien från 2006, korrigerat för eventuella förändringar över tid. Dos-respons relationer för ozonets inverkan på skoglig tillväxt respektive skördeutbytet för olika jordbruksgrödor fastställs baserat på aktuell vetenskaplig kunskap. Statistiska värden för produktion gäller under nuvarande ozonbelastning och med hjälp av dos-respons relationer beräknas vad produktionen skulle ha varit i avsaknad av ozonbelastning motsvarande pre-industriella ozonhalter. Inverkan av nuvarande ozonbelastning på skogstillväxt och skördebortfall beräknas således som skillnaden gentemot vad motsvarande värden skulle ha varit under en förindustriell ozonbelastning. Statistik vad gäller användande av vedråvara samt andel av olika jordbruksgrödor används tillsammans med aktuell prisstatistik för att beräkna det ekonomiska värdet för skillnaden mellan produktion under de olika ozonförekomsterna i jämförelse med pre-industriella ozonhalter. Beräkningarna görs dels summerat för alla skogsägare respektive bönder i landet, men också särskilt för ett område med hög ozonbelastning i Skåne.

4.2 Beräkning av ozonförekomst och växtlighetens exponering

4.2.1 Timvisa ozonhalter

En central del i uppskattningen av ozonets inverkan på växtligheten är att skapa en relevant, yttäckande bild av ozonförekomsten över Sverige. Ozonexponering av växtligheten baseras i denna analys på AOT40 under april till september (träd) respektive AOT40 under en ackumuleringsperiod som beror av temperatursumman, vanligen under maj-juli (jordbruksgrödor). AOT40 utgör en ackumulerad ozonexponering dagtid över ett tröskelvärde $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (40 ppb) (Fuhrer m. fl., 1997, LRTAP 2011). Konceptet illustreras i Figur 2.

Figur 2. En illustration av konceptet AOT40. Figuren visar timvisa ozonhalter under två dygn. Gula fält illustreras dagtid, prickat svart fält nattetid. En horisontell svart linje illustrerar tröskelvärdet $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (40 ppb) AOT40 ackumuleras dagtid över tröskelvärdet $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vilket motsvaras av ytan inom de röda fälten.

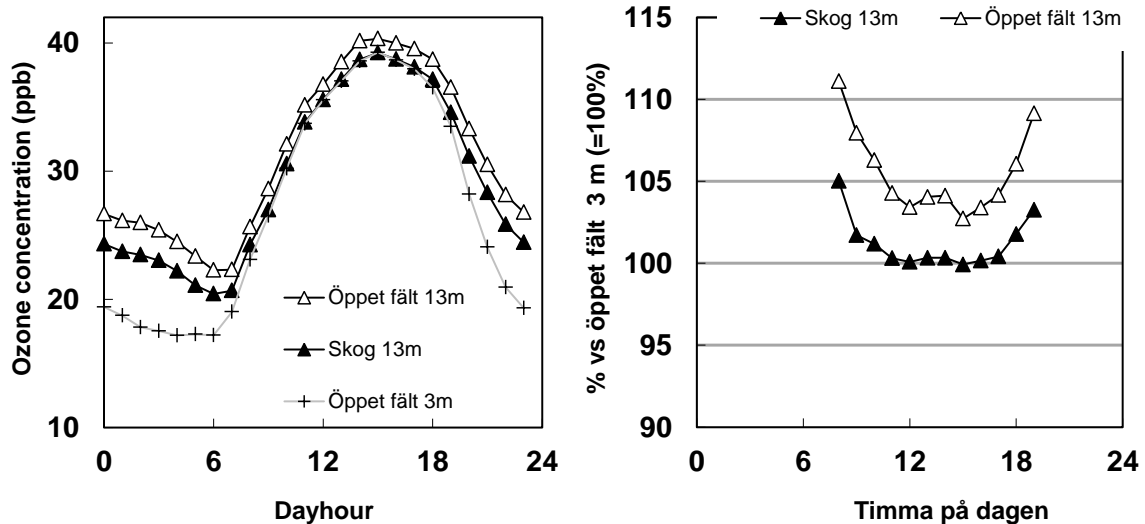


Efter att konceptet AOT40 inkorporerats i LRTAP-konventionen i mitten av 1990-talet (Fuhrer m. fl., 1997) har det fått en mycket stor spridning och används inom EU´s direktiv, Sveriges miljökvalitetsnormer (MKN) samt inom miljökvalitetsmålet Frisk Luft. AOT40 togs fram som ett koncept för att vara applicerbart över hela Europa och utgjorde därför i viss mån en kompromiss. För svenska förhållanden hade antagligen AOT30 varit bättre (Karlsson & Pleijel, 2005). En ackumulerad ozonexponering över ett så högt tröskelvärde som $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (40 ppb) medför vissa nackdelar. Ozonhalterna dagtid i Sverige under sommarhalvåret kretsar ofta kring denna nivå och eventuella mät- eller modelleringsfel kan därför få en relativt stor effekt på AOT40 om ozonhalterna ligger just över eller just under 40 ppb.

Yttäckande, timvisa, ozonhalter över Sverige har tagits fram av SMHI med hjälp av den fysikaliska spridningsmodellen, MATCH. För att korrigera tillkortakommanden i modellberäkningarna används en metodik där modellresultaten kombineras med kontinuerliga ozon-observationer som görs vid svenska EMEP-stationer (Andersson m.fl. 2014a; Södergren m.fl. 2013). Denna metodik beskrivs i detalj i Bilaga 2.

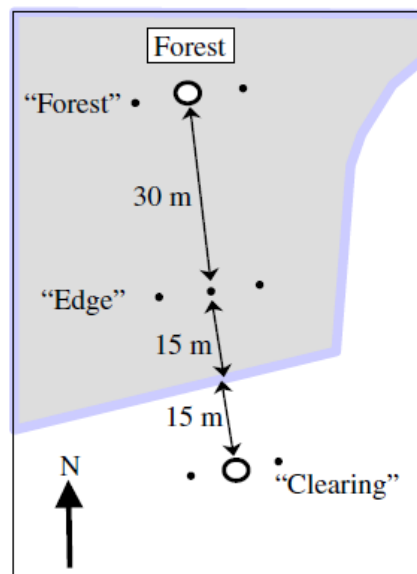
De timvisa ozonhalterna har korrigerats till de höjder över marknivå som är relevanta för respektive växtslag. För jordbruksgrödor har ozonhalterna justerats till 1 m (grödor) respektive 0,5 m (vall) baserat på den metodik som anges i LRTAP-konventionens "Mapping Manual" (LRTAP, 2011); här antas modellresultaten vara giltiga för öppen mark och det nedräknade värdet vara just 3 m över markytan. Vad gäller skog har vi använt ozonhalterna vid 3 m utan korrektion. Detta grundar sig på resonemanget om "zero plane displacement" i modellen (se bilaga 2) och har stöd i observationer av ozon i landskapet.

Observerade ozonhalter på två olika höjder över mark framför och inne i en granskog (Karlsson m. fl., 2006b)) visas i Figur 3. Granbeståndet var ca 18-20 m högt. Under dagtid (kl 8-19) var ozonhalterna vid trädkronornas övre del, 13 m över marknivå, i stort sett på samma nivå som ozonhalterna 3 m över mark på det öppna fältet. Ozonhalter 3 m över mark på öppet fält motsvarar de ozonhalter som mäts inom ozonövervakningen. Nattetid var skillnaderna avsevärt större men detta har ingen betydelse för AOT40 som ackumuleras endast under dagtid. Resultaten från dessa mätningar stödjer att vi använder de beräknade ozonhalterna för 3 m över marknivå för att representera ozonbelastningen av trädkronornas övre del.

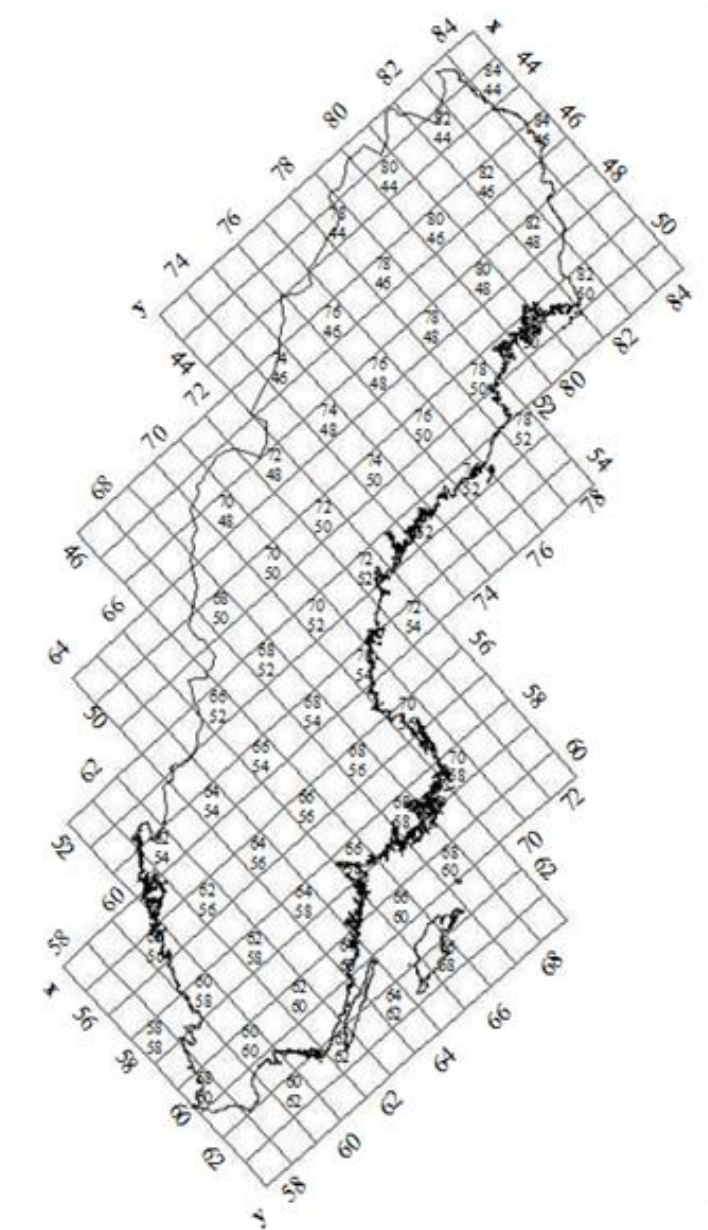


Figur 3. Observationer av timvisa ozondata mätt med instrument på två olika höjder över marken på ett hygge 15m framför ett skogsbryn ("Clearing") samt ca 45 m in i skogen ("Forest", granskog) vid Antens Kapell, ca 55 km nordost om Göteborg. Mätningarna bedrevs under ca en månads tid i juli-aug 1989. I diagrammet visas medelvärden per dygnstimma för de olika mätplatserna, dels som absolutvärden (överst till vänster), del normaliserat till värdet 3 m över mark på den öppna marken framför skogsbrynet (=100%, överst till höger). I denna sista figur visas endast värden för dagtid. Nederst till höger visas en karta över mätplatserna. Från Karlsson m. fl., 2006b.

1 ppb motsvarar ca 2 µg/m³.



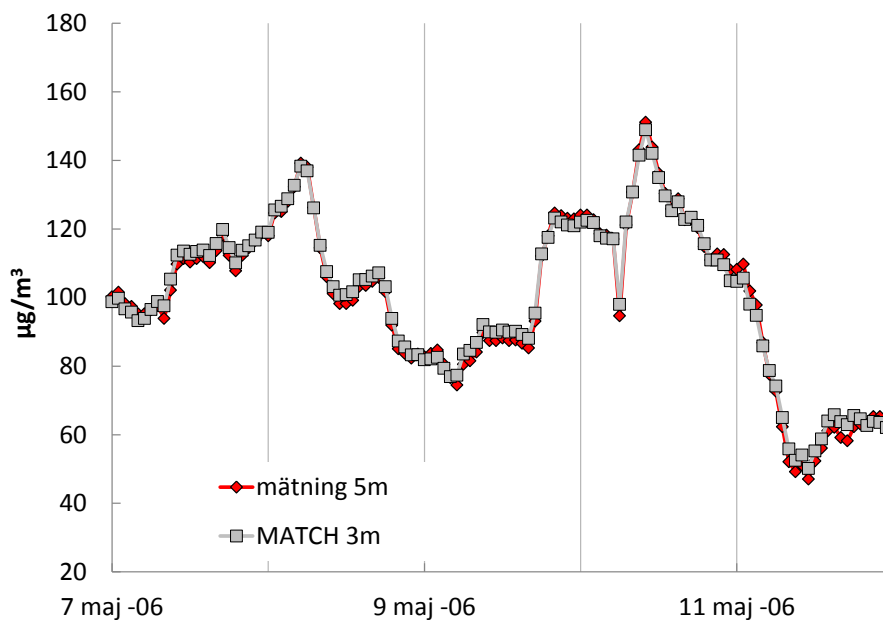
Utifrån de timvisa ozon-koncentrationerna på de relevanta nivåerna över marken beräknas AOT₄₀ över skog respektive grödor för åren 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 och 2012 i gridrutor (50*50 km, Figur 4).



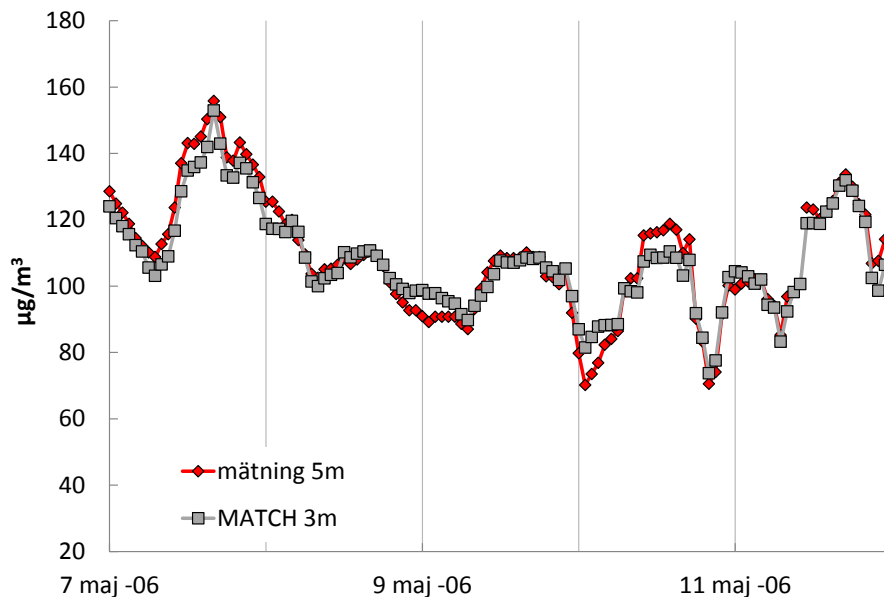
Figur 4. De gridrutor som använts i innevarande studie, med numrering. Gridrutorna härstammar från EMEP-modellen.

Överensstämmelsen mellan modellerade och observerade timvisa ozondata för en nivå 3 m över marken var som väntat mycket god, vilket exemplifieras för två platser i Figur 5.

A



B



Figur 5. Exempel på modellerade och observerade timvisa ozonvärden för två platser, A, Esrange i Norrbotten (grid 45_82) and B, Vavihill i Skåne (grid 59_59) under en period med höga ozonhalter i maj 2006. Ozonhalter modellerades för ett luftskikt 0-60 m över mark och omräknades till en nivå 3 m över mark. Ozonhalter vid Esrange och Vavihill har uppmätts inom den nationella ozonövervakningen (www.ivl.se) på en nivå 5 m över mark.

Timvisa ozonhalter som modellerats med MATCH för en nivå 3 m över mark stämmer väl med ozonhalter uppmätta med instrument 5 m över mark. Överensstämmelsen mot mätningar är avsevärt bättre jämfört med föregående studie där ozonexponeringen beräknades med EMEP-modellen.

4.2.2 Scenario där preciseringen för ozon och växtlighet inte överskrids

I studien ingick att analysera effekterna av ozon på växtligheten i Sverige under ett scenario där nuvarande precisering för ozon och växtlighet inom miljömålet Frisk Luft inte överskrids vid någon plats i Sverige. Preciseringen för ozon och växtlighet säger att ett värde 10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar (5000 ppb timmar) AOT40 april-september inte bör överskridas.

Detta scenario konstruerades genom att de modellerade timvisa ozonhalterna för 3 m över marknivå multiplicerades med en faktor så att det beräknade AOT40 april-september för en nivå 3 m inte överskreds i någon gridruta över Sverige. Detta gjordes separat för respektive år. De faktorer som används visas i Tabell 1. AOT40 för jordbruksgrödor beräknades sedan baserat på dessa korrigerade timvisa ozonhalter.

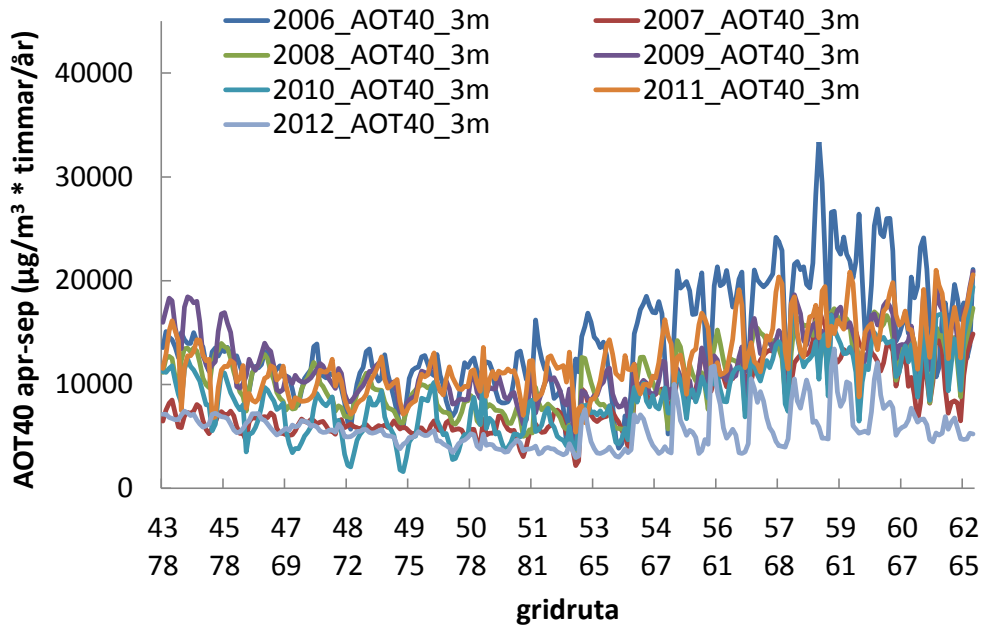
Tabell 1. De faktorer som används respektive år för att räkna ner de timvisa ozonhalterna 3 m över marknivå så att AOT40 april-september inte överskred ett värde 10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar (5000 ppb timmar) i någon gridruta.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
faktor	0.800	0.914	0.908	0.904	0.911	0.881	0.954

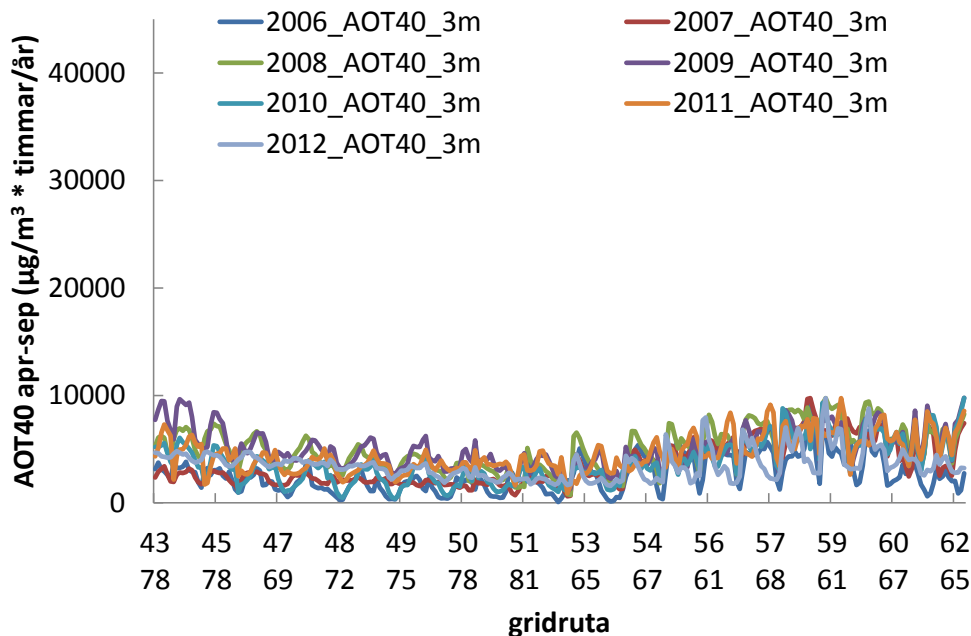
4.2.3 Ozonexponering skog

AOT40 för skog, beräknad för 3 m över marknivå, för nuvarande ozonförekomst såväl som för scenariot där preciseringen för ozon och växtlighet inte överskrids, visas för respektive gridruta och separat för de olika åren i Figur 6.

A

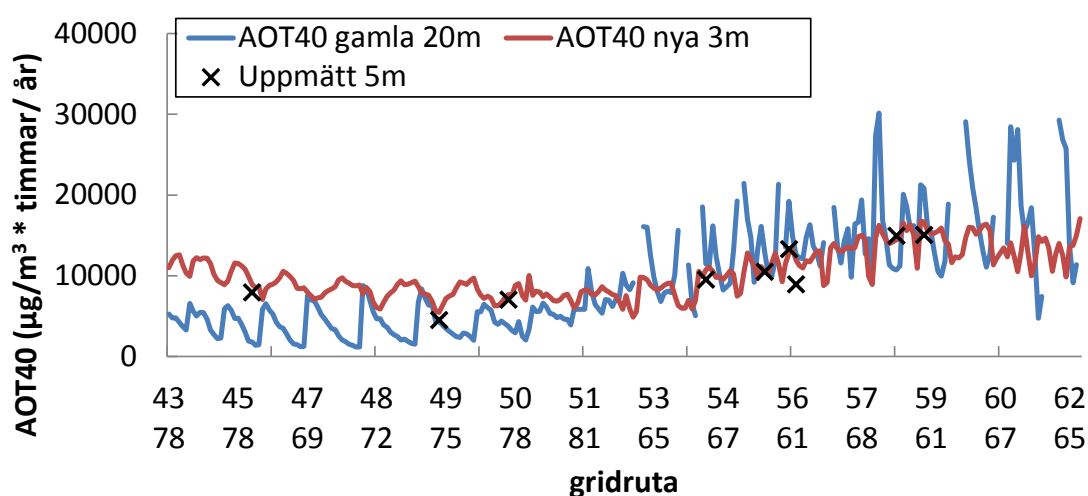


B



Figur 6. AOT40 beräknad för 3 m över marknivå visas för varje gridruta och för de olika åren. A. Nuvarande ozonförekomst. B. Ett scenario där preciseringen för ozon och växtlighet, 10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar (5000 ppb timmar)/år inte överskrids i någon gridruta. Gridrutorna är ordnade i nummerordning baserat på numreringen i kartan i Figur 4, med start ruta 43-78 och slut ruta 62-68. Detta innebär en ordning i stort sett radvis från längst i nordväst till längst i sydost.

AOT40 för skog, beräknad för 3 m över marknivå, visas för varje gridruta som ett medelvärde för åren 2006-2012 i Figur 7. I figuren visas även de värden för AOT40 som användes för motsvarande gridrutor i den föregående studien från 2006. Dessutom visas med svarta kryss AOT40 beräknat från instrumentmätningar som gjorts 5 m över marknivå inom den nationella ozonövervakningen som medelvärden för åren 2006-2012. Värden från dessa mätplatser har inordnats inom den gridruta där de är belägna.



Figur 7. Nya beräknade värden för AOT40 visas för varje gridruta som ett medelvärde för åren 2006-2012 baserat på beräknade ozonhalter 3 m över marknivå från MATCH-modellen. Dessa benämns "AOT40 nya 3 m" och visas med röd linje. Vidare visas de värden för AOT40 som användes för motsvarande gridrutor i den föregående studien från 2006. Dessa benämns "AOT40 gamla 20m" och visas med blå linje. Dessa värden var beräknade för 20 m över marknivå med EMEP-modellen. Slutligen visas med svarta kryss AOT40 beräknat från instrumentmätningar som gjorts 5 m över marknivå inom den nationella ozonövervakningen som medelvärden för åren 2006-2012. Värden från dessa mätplatser har inordnats inom den gridruta där de är belägna.

Gridrutorna är ordnade i nummerordning baserat på numreringen i kartan Figur 4, med start ruta 43-78 och slut ruta 62-68. Detta innebär en ordning i stort sett radvis från längst i nordväst till längst i sydost

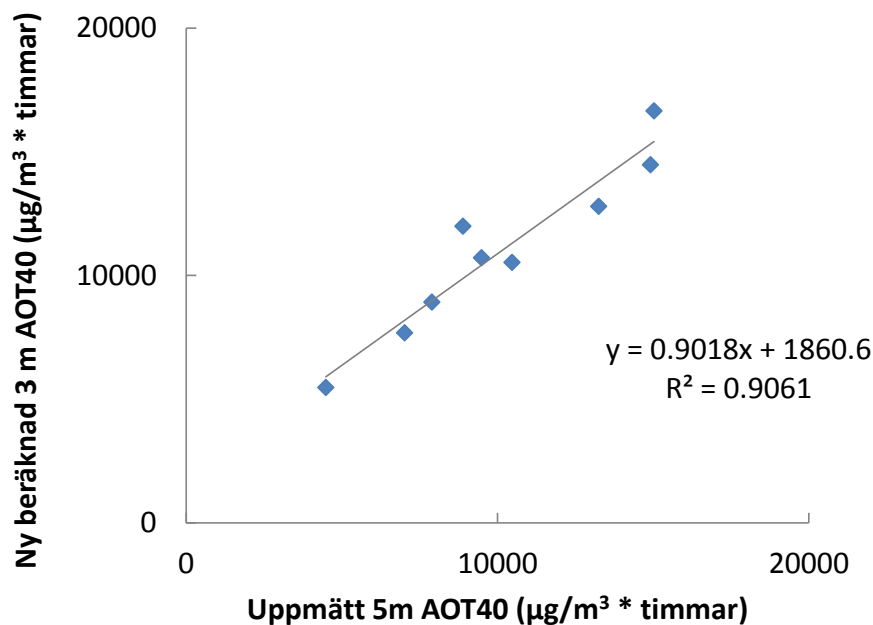
De nya värden som har beräknats för AOT40 relevant för skog (3 m över marknivå) i norra delen av landet ligger generellt högre jämfört med motsvarande värden som användes i den tidigare studien från 2006, som beräknades från modellerade ozonhalter med EMEP-modellen. Dessa tidigare värden var beräknade för att gälla för en nivå 20 m över marken.

I den södra delen av landet varierar AOT40 i mindre utsträckning över landet i väst-östlig riktning jämfört med motsvarande värden som användes i den tidigare studien.

Eftersom de timvisa ozonhalter som modellerats med MATCH för 3 m över marknivå är justerade utifrån uppmätta värden inom den nationella ozonövervakningen, är det svårt att validera de beräknade värdena för AOT₄₀ mot oberoende observationer. De beräknade värdena för AOT₄₀ april-september 3 m över marknivå som medelvärde för perioden 2006-2012 jämförs i Figur 8 med motsvarande värden beräknade från uppmätta timvisa ozonhalter vid de olika mätplatserna inom den nationella ozonövervakningen, 5 m över marknivå. Överensstämmelsen är som väntat mycket god.

För övrig utvärdering av ozonhalter modellerade med MATCH, jämfört med observerade data, hänvisas till en pågående studie, finansierad av Naturvårdsverket (Danielsson m. fl., 2014).

Nya beräknade AOT₄₀ 3 m vs uppmätt 5m

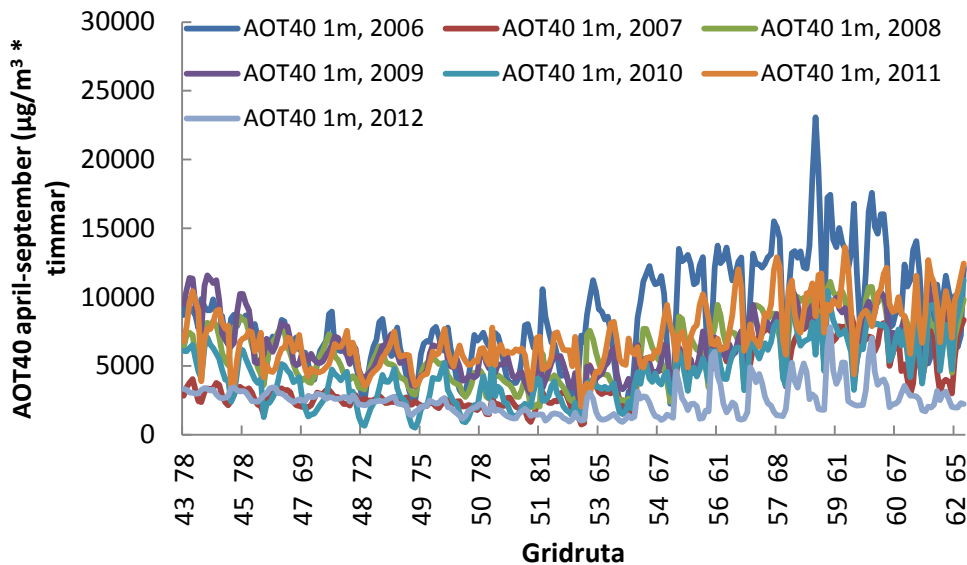


Figur 8. AOT₄₀ beräknad för 3 m över marknivå med MATCH-modellen, som medelvärden för åren 2006-2012, avsatt mot AOT₄₀ beräknat från instrumentmätningar som gjorts 5 m över marknivå inom den nationella ozonövervakningen som medelvärden för åren 2006-2012. Värden från dessa mätplatser har inordnats inom den gridruta där de är belägna.

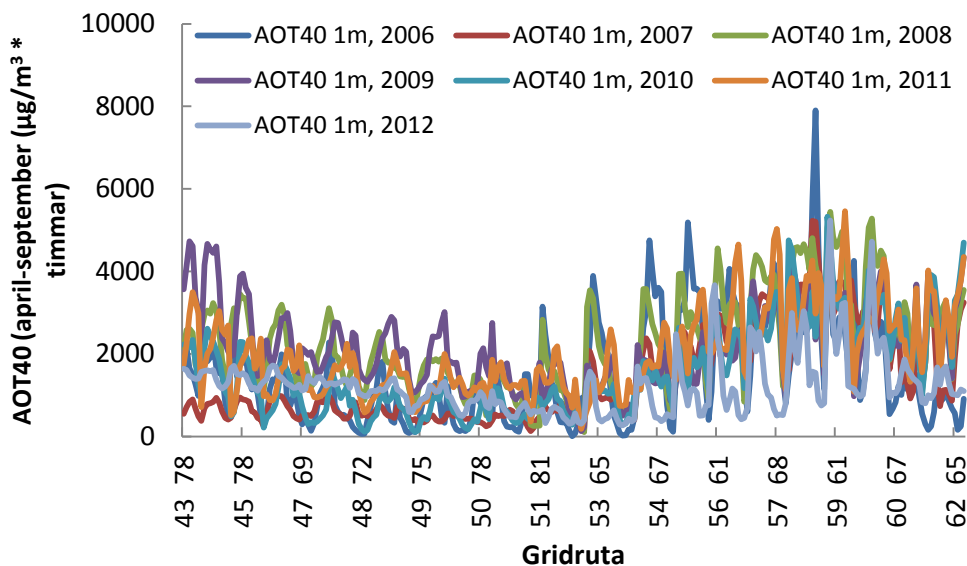
4.2.4 Jordbruksgrödor

AOT40 för jordbruksgrödor, beräknad för 1 m över marknivå, för nuvarande ozonförekomst såväl som för scenariot där målvärdet för ozon och växtlighet inte överskrids, visas för varje gridruta och separat för de olika åren i Figur 9.

A



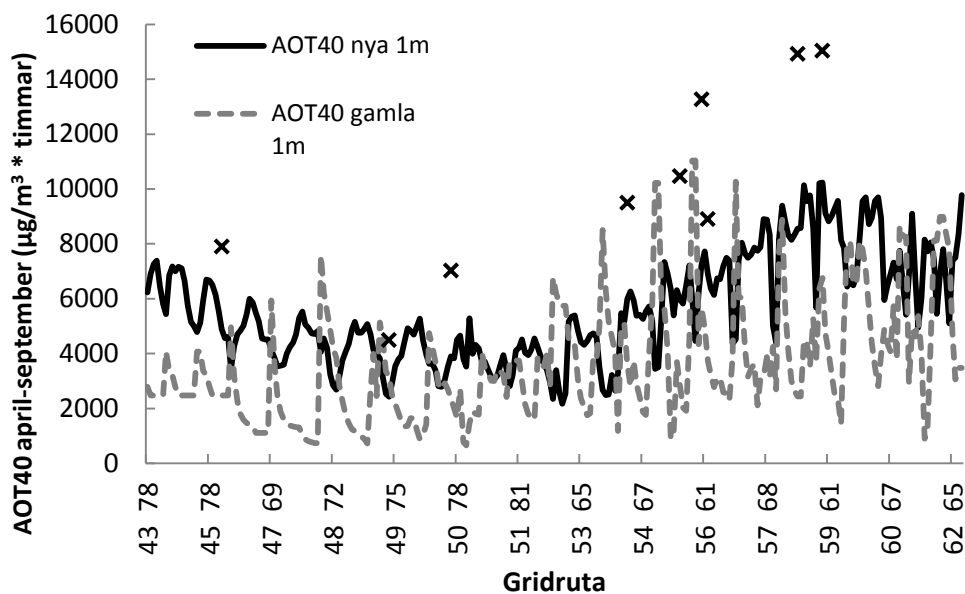
B



Figur 9. AOT40 beräknad för 1 m över marknivå för nuvarande ozonförekomst (A) såväl som för scenariot där målvärdet för ozon och växtlighet inte överskrids (B) visas för varje gridruta och för de olika åren. Gridrutorna är ordnade i nummerordning baserat på numreringen i kartan Figur 4, med start ruta 43-78 och slut ruta 62-68. Detta innebär en ordning i stort sett radvis från längst i nordväst till längst i sydost.

Metoden för omräkning av ozonhalter från 3m ovan marknivå till 1m (vete, övriga sädesslag och potatis) respektive 0.5m (vall) följer metodiken beskriven i kapitel 3 i Mapping Manual (LRTAP, 2011).

AOT40 för jordbruksgrödor, beräknad för 1 m över marknivå, visas för varje gridruta som ett medelvärde för åren 2006-2012 i Figur 10. I figuren visas även de värden för AOT40 som användes för motsvarande gridrutor i den föregående studien från 2006. Dessutom visas med svarta kryss AOT40 beräknat från instrumentmätningar som gjorts 5 m över marknivå inom den nationella ozonövervakningen som medelvärden för åren 2006-2012. Värden från dessa mätplatser har inordnats inom den gridruta där de är belägna. Att de uppmätta värdena på 5 m över mark ligger högre jämfört med värdena för 1 m över mark beror på att ozonhalterna ökar avsevärt med höjd över marken på dessa nivåer som ligger nära marken.



Figur 10. AOT40 beräknad för 1 m över marknivå med metodiken från "Mapping Manual" visas för varje gridruta som ett medelvärde för åren 2006-2012. Dessa benämns "AOT40 nya 1 m" och visas med svart heldragen linje. Vidare visas de värden för AOT40 som användes för motsvarande gridrutor i den föregående studien från 2006. Dessa benämns "AOT40 gamla 1m" och visas med grå streckad linje. Även dessa värden var beräknade för 1 m över marknivå. Slutligen visas med svarta kryss AOT40 beräknat från instrumentmätningar som gjorts 5 m över marknivå inom den nationella ozonövervakningen som medelvärden för åren 2006-2012. Värden från dessa mätplatser har inordnats inom den gridruta där de är belägna.

Gridrutorna är ordnade i nummerordning baserat på numreringen i kartan Figur 4, med start ruta 43-78 och slut ruta 62-68. Detta innebär en ordning i stort sett radvis från längst i nordväst till längst i sydost

Jämförelsen mellan de ”nya” och de ”gamla” AOT₄₀-värdena visar att de värden som användes vid den tidigare studien från 2006 generellt var lägre, framför allt i landets norra delar.

4.3 Dos-respons relationer för ozonpåverkan

4.3.1 Generellt om dos – respons relationer

Vad gäller perenna växtslag, t ex träd, är det viktigt att den respons-parameter som används reflekterar ozonets inverkan på tillväxthastigheten. Det är tyvärr vanligt i experimentella studier med ozon att den respons-parameter som används i stället är procent nedsättning av biomassan vid experimentets slut, i den höga ozonbehandlingen jämfört med en kontrollbehandling med låg ozonförekomst. Det går att med ett enkelt exempel att visa att inverkan av ozon mätt som en procentuell biomassaminskning inte behöver vara det samma som en ozoneffekt på en tillväxthastighet. Detta diskuteras i detalj i Bilaga 3.

Det är att föredra att beräkna ozoneffekter som procentuell nedsättning av tillväxthastigheten när man skall beräkna ozonets inverkan på skogstillväxt under en hel rotationsperiod. Problemet är att de flesta studier endast anger ozonets procentuella effekter på den slutliga biomassan. För att omvandla dessa resultat till effekter på tillväxthastigheten måste man göra antaganden om hur stora träden kan ha varit vid experimentens start, om detta inte angivits. Vad gäller skog används därför i denna studie så långt möjligt resultat från experimentella studier där ozonets påverkan beräknas som en påverkan på tillväxthastigheten.

Det är användbart att uttrycka ozoneffekterna på tillväxten som en effekt per 20000 µg/m³ timmar (10000 ppb timmar) eftersom detta är en nivå på ozonbelastningen som är vanlig i södra Sverige (se Figur 13 nedan).

4.3.2 Dos-responsrelationer för skog

4.3.2.1 Tidigare använda dos-respons relationer

I den föregående studien från 2006 användes en ozonpåverkan för gran som 2 % nedsättning av tillväxthastigheten per 20000 µg/m³ timmar AOT₄₀ april-september. Samma värde användes för tall. Motsvarande värde för lövträd var 8% nedsättning. Dessa dos-respons relationer var hämtade från Karlsson m. fl. (2005). För gran grundades dessa relationer på stamvolymmätningar från en svensk, 4-årig experimentell studie med fältkammare vid Östads Säteri (Wallin m. fl., 2002) medan data för björk hämtades från en 2-årig svensk experimentell studie, också den vid Östads Säteri (Karlsson m. fl., 2003).

I skoglig statistik uttrycks tillväxthastighet som ökning av stamvolymen i enheten m³ sk/år (stamvolym inklusive bark per år). Det är inte alltid att

experimentella resultat för ozonets inverkan på tillväxt uttrycks i just denna enhet och därför diskuteras i tillämpliga fall relationerna mellan olika enheter.

4.3.2.2 Ny vetenskaplig kunskap sedan 2006

I det följande redovisas ett urval av viktig vetenskaplig kunskap som framkommit sedan den föregående studien 2006, som kan ha betydelse för beräkningen av värden för inverkan av ozon på trädutväxten i den föreliggande, nya studien.

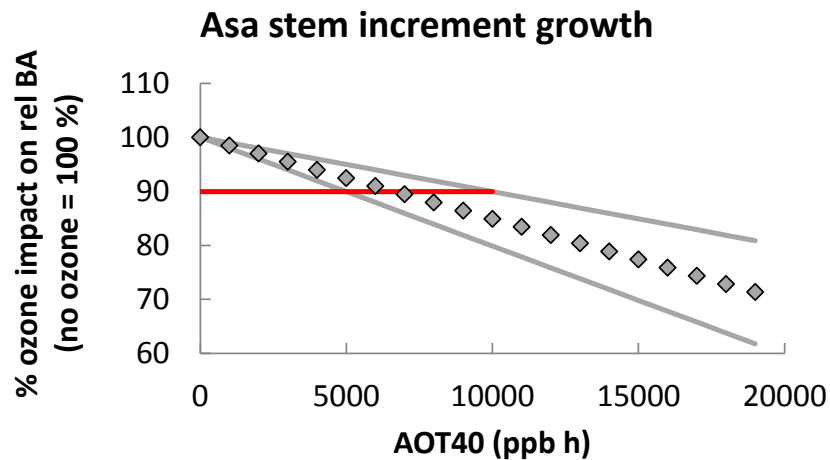
4.3.2.2.1 Svenska studier

I en epidemiologisk studie (Karlsson m. fl., 2006c) analyserades stamtillväxten hos vuxna granar i bestånd vid SLU's försökspark i Asa, 35 km norr om Växjö. Det årliga ökningen i stamomkrets mättes på fem granar på vardera tio försöksytorna runt försöksparken och räknades om till förändringar i grundytan. Grundytan är stammens tvärsnittsarea i brösthöjd. Vid fältstationen mättes ozonhalter med instrument samt olika meteorologiska parametrar. Dessutom mättes markfuktigheten veckovis vid de olika försöksytorna. Sambanden mellan årlig grundytetillväxt, ozonbelastning samt olika meteorologiska parametrar analyserades med multipel regressionsanalys. Den statistiska analysen visade på en statistiskt säkerställd, negativ effekt av ozon på stamtillväxten uttryckt som den relativa ökningen av grundytan, Figur 11. Ozonexponeringen uttrycktes som AOT₄₀.

Det finns en samvariation mellan ozonförekomst och flera olika meteorologiska variabler. Den statistiska metod som användes i analysen tog hänsyn till detta och den negativa ozoneffekten var trots detta statistiskt säkerställd. Det finns ändå anledning att använda resultaten från den epidemiologiska analysen med försiktighet. Riktningkoefficienten för ozonets negativa inverkan på stamtillväxten ges i analysen med ett intervall som visar det s.k. medelvärdeets medelfel (Standard Error, S.E.). Om man väljer det lägre värdet för ozonets negativa inverkan inom intervallet resulterar detta i en nedsättning av grundytetillväxten med 10 % per 20000 µg/m³ timmar AOT₄₀ april-september.

Figur 11. Inverkan av ozon uttryckt som AOT40 ppb timmar per år, på stamtillväxten (relativ grundytetillväxt) hos vuxna granar i bestånd vid Asa försöksspark.

Från Karlsson m. fl., 2006c)



I den här beskrivna studien uttrycktes ozonets inverkan på skogstillväxten som en inverkan på den relativa grundytetillväxten (enhet % ökning per år). Denna enhet förhåller sig till en tillväxt uttryckt som m^3 sk/ år via höjden på trädet. Under förutsättning att höjden på trädet förändras i samma utsträckning som grundytan finns det ett direkt samband. Grundytan beräknas utifrån mätningar av stamdiametern, s.k. ”klavning”. Denna typ av mätning används för att beräkna tillväxten i många olika skogliga sammanhang. Det finns dock vissa indikationer om att hög ozonexponering kan påverka stamformen hos gran, så att kvoten mellan trädets höjd och diameter ökar, se avsnitt om Kranzberg nedan. Om detta var fallet även i studien från Asa skulle detta medföra att analyserna som baserades på mätningar av grundytan överdrev den negativa ozoneffekten på tillväxten. Detta diskuteras vidare i stycket nedan om sammanvägda aspekter.

Resultaten från en epidemiologisk analys av ozonets negativa verkan på stamtillväxten hos vuxna granar i bestånd i södra Sverige visade, lågt räknat, på en nedsättning på 10 % per 20000 $\mu g/m^3$ timmar AOT40 april-september.

4.3.2.2.2 En modellstudie av ozonets inverkan på biomassaproduktionen i svensk skog

Inverkan av olika klimat och olika ozonförekomst på biomassaproduktionen i svensk skog modellerades med modellen 3-PG (Physiological Principles Predicting Growth) (Subramanian m. fl., 2014). Indata till modellen var förutom skogliga- och klimatdata, relationer mellan AOT40 under nuvarande ozonbelastning 2005-2009 och inverkan på trädbeståndets maximala fotosynteshastighet samt på bladens/barrens åldrande. Dessa dos-respons relationer härrörde i sin tur från svenska experimentella data från flera olika

studier med s.k. fältkammare (Skärby m. fl. 1995, Uddling m. fl., 2006). De värden för AOT₄₀ som användas sträckte sig från 7 400 µg/m³ timmar längst i norr till 27 400 µg/m³ timmar längst i söder.

Modellsimuleringarna resulterade i en nedsättning av skogens biomassa-produktion för granskog orsakad av dagens ozonförekomst på mellan 4.3 och 14.8 %, i jämförelse med förindustriella ozonhalter, med de lägsta värdena längst i norr. Baserat på påverkan och ozonförekomst i södra Sverige innebär detta en nedsättning av biomassaproduktionen på ca 11 % vid 20 000 µg/m³ timmar AOT₄₀ april-september. Detta värde är mycket nära det värde som erhöles från den epidemiologiska studien beskriven i det förra stycket.

Indata till dessa beräkningar var för granskog delvis en annan jämfört med den grund som användes i den tidigare studien baserat på Karlsson m. fl. (2005). Information om påverkan av ozon på fotosynteshastigheten hämtades från en tidigare studie där granar exponerades för olika ozonhalter i fältkammare under en period av 5 år vid Rörvik, strax söder om Göteborg.

En reduktion av biomassaproduktionen i skogsekosystemet korrelerar starkt med en effekt på tillväxten av stamvolymen. Inom IPCC's "default method" används en faktor 1.8 ("biomass expansion factor") för att översätta mellan förändringar i stamvolym och förändringar i trädens biomassa inklusive rötter.

Resultaten från en modellsimulering av ozonets inverkan på biomassatillväxten i svensk skog resulterade i en nedsättning på 11% per 20000 µg/m³ timmar AOT₄₀ april-september.

4.3.2.2.3 Finska studier

Oksanen m. fl. (2009) har summerat resultat från finska experimentella studier där olika kloner av vårt- och glasbjörk har exponerats för olika ozon nivåer under olika experimentella förhållanden. Även om en regressionsanalys inte var signifikant när så olika experimentella resultat sammanfördes, summerar Oksanen m. fl. resultaten så att en ozonexponering på i medeltal 30 000 µg/m³ timmar resulterar i medeltal i en minskning av stamdiametertillväxten sammantaget för båda björkarterna på ca 15 %. Sålunda skulle stamtillväxten hos björk utifrån dessa studier minska ca 10 % vid en årlig AOT₄₀ på 20 000 µg/m³ timmar. De finska studierna, liksom även svenska studier, visar att rotbiomassa är i större utsträckning negativt påverkad av förhöjda ozonhalter jämfört med ovanjordisk biomassa. De experimentella förhållandena verkar dock inte vara sådana att detta får en negativ inverkan på ovanjordisk tillväxt.

Finska experimentella studier tyder på att stamtillväxten hos björk minskar ca 10 % vid en årlig AOT₄₀ på 20000 µg/m³ timmar.

4.3.2.2.4 Kranzberg, Tyskland

I en unik studie strax utanför München, i södra Tyskland, exponerades vuxna träd av gran och bok för förhöjda ozonhalter (dubbelt så höga som omgivningshalten) under en period av åtta år. Tyvärr kunde de förhöjda ozonhalterna vidmakthållas endast för fem trädindivider vardera av gran och bok. Fem stycken motsvarande närstående träd användes som kontroll. Eftersom antalet exponerade träd var så lågt var den statistiska styrkan i studien begränsad. Experimentet var ändå av stort värde eftersom vuxna träd utsattes för en kontrollerad ozonbehandling under så lång tid.

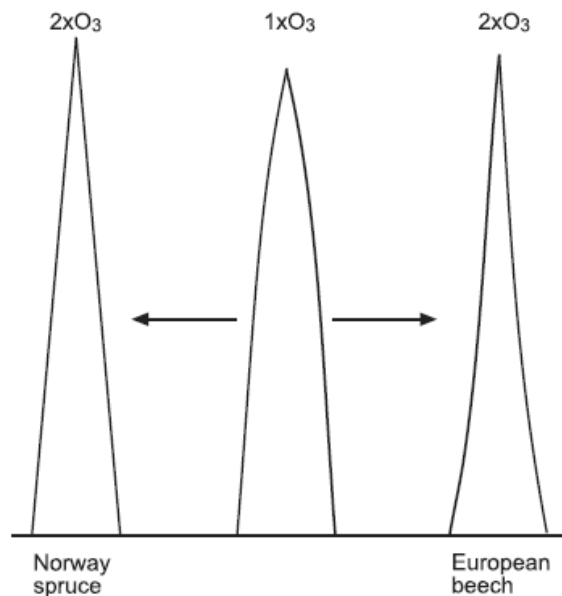
Resultaten efter åtta års experiment visade att en fördubbling av ozonhalter, relativt till omgivningshalt, resulterade i en statistiskt säkerställd, negativ inverkan på stamvolymtillväxten hos bok med så mycket som 44 %.

Motsvarande nedsättning för gran var ca 2 % men den var inte statistiskt säkerställd. Detta kan ha berott på den relativt svaga statistiska styrkan i experimentet.

Det årliga AOT₄₀ i den förhöjda ozonbehandlingen var som medelvärde över två av de experimentella åren 130 000 µg/m³ timmar AOT₄₀ högre jämfört med motsvarande värde för ozonförekomsten i omgivningsluften (Löv m. fl., 2012).

Noggranna mätningar av stammarna hos de ozonexponerade träden tydde på att ozon orsakade en förändring av stammarnas form, särskilt hos gran (Figur 12).

Figur 12. En schematisk illustration av inverkan av förhöjda ozonhalter på stamformen hos gran (Norway spruce) och bok (European beech). Figuren i mitten illustrerar schematiskt stamformen hos träd som växer under omgivningshalter av ozon. Till vänster illustreras förändringen i stamformen för gran som växer under förhöjda ozonhalter. Till höger visas förändringen i stamformen för bok som växer under förhöjda ozonhalter. Från Pretzsch et al., 2010.



För bokträd blev stamdiametern kraftigt reducerad av ozon medan längden blev oförändrad och stamvolymen minskade därför signifikant. För gran blev också

stamdiametern reducerad av ozon men stamlängden ökade något, vilket resulterade i att stamvolymen inte förändrades på ett statistiskt säkerställt sätt. Denna studie utnyttjade en gradient av ozon från de träd som utsätter för en fördubbling av ozonhalterna vilket gjorde att något fler träd kunde utnyttjas för den statistiska analysen. Antalet träd som ingick i studien var ändå starkt begränsad, vad gäller gran var det 22 stycken granar som ingick. Eftersom variationen i tillväxt mellan trädindivider alltid är stor innebär detta en stark begränsning vad gäller de statistiska analyserna.

En fördubbling av ozonförekomsten, jämfört med omgivningsluften, resulterade i en nedsättning av stamvolymtillväxten hos vuxna träd av bok med 7 % per 20000 µg/m³ timmar AOT₄₀ april-september. Motsvarande värde för gran var 0.3 % per 20000 µg/m³ timmar AOT₄₀ apr-september men denna effekt var inte statistiskt säkerställt. Ozon orsakade sannolikt en viss förändring av stamformen för gran, så att längden ökade på bekostnad av diametern. Den statistiska styrkan i denna studie var dock starkt begränsad.

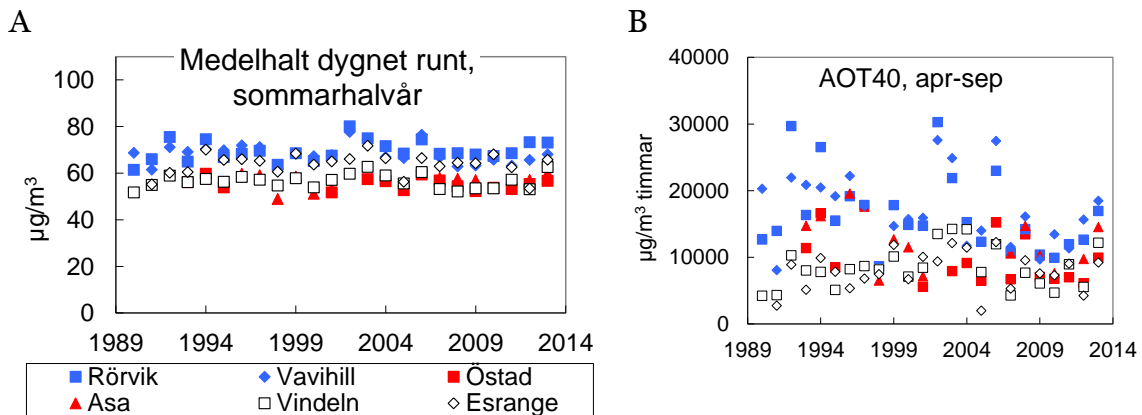
4.3.2.2.5 En metaanalys av experimentella studier

Wittig m. fl. (2009) genomförde en statistisk meta-analys av alla tillgängliga experimentella studier vad gäller inverkan av förekommande ozonhalter på träd.

Generellt för alla trädslag rapporterades en minskning av den totala trädbiomassan med 7 % vid en genomsnittlig ozonhalt av 80 µg/m³, jämfört med förindustriella ozonhalter. Vid en analys av experiment med förhöjda ozonhalter (medel 194 µg/m³), jämfört med förindustriella ozonhalter fann man en minskning av den totala biomassan med 17 %. Motsvarande värde för en effekt på stamdiametern var en minskning på 10 %. Man fann också att barrträd var mindre känsliga för ozon jämfört med lövträd, baserat på effekt på totalbiomassa. För barrträd beräknade man en minskning av biomassan på 7 % vid en ozonmedelhalt på 184 µg/m³, medan motsvarande värden för lövträd var en minskning på 23 % vid en ozonmedelhalt på 148 µg/m³. Man visade även att *Picea* (gran) och *Pinus* (tall) trädslag var relativt likartade vad gällde ozonkänslighet. Bedömningen av skillnader i ozonkänslighet mellan olika trädslag kompliceras dock av att ozoneffekter i experimentella studier kvantifieras efter en relativt kort exponeringstid av några få år, medan rotationsperioderna för barrträd oftast är avsevärt längre för barr- jämfört med lövträd. Barrträd utsätts således för en ozonbelastning under avsevärt längre tidsperiod.

Det är svårt att direkt översätta värden för ozonmedelhalt till värden för AOT₄₀, eftersom relationen starkt beror av ozondynamiken över dygnet. En indikation fås dock när man jämför beräknade värden för ozonmedelhalter under

sommarhalvåret med värden för AOT40 apr-sep från mätplatser inom den nationella ozonövervakningen (Figur 13). Man kan konstatera att en ozonmedelhalt på $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, som användes i studien Wittig m. fl., för att representera omgivningshalter av ozon, sannolikt motsvarar värden för AOT40 på 30 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar.



Figur 13. Ozonmedelhalt under sommarhalvåret (A) samt AOT40 apr-sept (B) för några mätplatser inom den nationella ozonövervakningen.

Den genomsnittliga minskning av den totala biomassan som Wittig et al. rapporterar för omgivningshalter, 7 %, skulle därför kunna motsvara en biomassaminskning med ca 5 % per 20 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar AOT40.

Det föreligger problem att översätta en procentuell minskning av biomassa vid experimentens slut till en effekt på tillväxthastigheten, vilket diskuterats inledningsvis i detta kapitel samt i Bilaga 3. Dock är skillnaderna mindre när man använder unga träd med en liten initial biomassa, jämfört med stora träd. Åldern på de träd som ingick i analysen anges inte, men det är sannolikt att det huvudsakligen ingick experimentella data för unga, små träd. Därför blir skillnaderna mellan ozonpåverkan på slutbiomassa och tillväxthastighet sannolikt begränsade.

En meta-analys av alla tillgängliga data vad gäller ozonets inverkan på träd indikerade en nedsättning av den totala biomassan med ca 5 % per 20 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar som ett medelvärde över alla trädslag.

4.3.2.3 Sammanvägda aspekter för revidering av dos-respons relationer

Utgående från den nya vetenskapliga information som framkommit sedan den föregående studien 2006 och som beskrivits ovan har en sammanvägd

bedömning gjorts vad gäller behovet av att revidera dos-respons relationerna för ozonets inverkan på tillväxthastigheten hos olika trädslag. Grunderna anges punktvis för respektive trädslag och en samlad bedömning görs nedan.

Gran:

- Tidigare beräkningar från fältkammarexperiment vid Östas Säteri baserat på mätningar av trädvolymen på unga granar resulterade i ett uppskattat värde av 2 % nedsättning av tillväxthastigheten per 20 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ AOT₄₀.
- Konservativa beräkningar baserat på epidemiologiska analyser av grundytetillväxten hos vuxna granar i bestånd i Asa tydde på en minskad stamvolymstillväxt på 10 % per 20 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ AOT₄₀.
- Resultat från exponering av vuxna granar i bestånd för ozonhalter dubbelt så höga jämfört med omgivningshalter i södra Tyskland tyder på att höga ozonhalter kan förändra stamformen så att diametern minskar men längden ökar något. Detta kan medföra att ozoneffekter som baseras på mätningar av stamdiametern, såsom studien från Asa, kan vara överskattade.
- Resultat från modellsimuleringar av biomassaproduktionen i svensk skog, baserat på ozonets inverkan på maximala fotosynteshastigheter och ett för tidigt åldrande av blad och barr, tyder på att nuvarande ozonhalter kan minska biomassaproduktionen med ca 11 % per 20 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ AOT₄₀.
- Beräkningar baserat på en meta-analys av alla tillgängliga experimentella data med träd tydde på en minskning av den totala biomassan med ca 5 % per 20 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ för alla trädslag, med barrträd som något mindre känsliga.

De epidemiologiska analyserna tillsammans med modellsimuleringarna tyder på en minskning av tillväxthastigheten hos gran på runt 10 % per 20 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ AOT₄₀. Möjligheten att ozon orsakar förändringar av stamformen motiverar att vi för säkerhets skull halverar den effekt som beräknats från de epidemiologiska analyserna, vilket gör att effekten av ozon hamnar på samma nivå som den som beräknats utifrån en meta-analys av alla globalt tillgängliga experimentella studier med träd, dvs 5 % per 20 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ AOT₄₀. Sammantaget föreslår vi att värdet för ozonets negativa inverkan på stamvolymstillväxten förstärks något, från tidigare -2 till -5 % per 20 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ AOT₄₀ april-september. Detta nya värde får ändå anses utgå från en konservativ bedömning.

Det föreslås en förstärkning av ozoneffekten på stamvolymstillväxten hos gran från 2 % till 5 % per 20 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ AOT₄₀ apr-sept.

Tall:

Det mesta tyder på att ozonkänsligheten hos tall är i paritet med den hos gran (Wittig m. fl., 2009).

För tall föreslås samma ozoneffekt på stamtillväxten som hos gran

Lövträd:

- Tidigare beräkningar baserat på svenska fältkammarexperiment resulterade i en ozoneffekt på tillväxten på 8 % per 20 000 µg/m³.
- Resultaten från finska experiment med björk indikerar en minskad stamtillväxt på 10 % vid 20 000 µg/m³
- Som nämnts ovan visar en meta-analys baserat på alla tillgängliga experimentella studier på en minskning av den totala biomassan med ca 5 % per 20 000 µg/m³ AOT₄₀ för alla trädslag, med lövträd som något mer känsliga.

Utifrån vad som angivits ovan föreslås att ozoneffekten på stamtillväxten hos lövträd kvarstår på 8 % per 20 000 µg/m³ AOT₄₀ apr-sept.

4.3.3 Dos-responsrelationer för jordbruksgrödor

I Mapping Manual (LRTAP, 2011) finns rekommendationen att inte använda AOT₄₀-baserade dos-respons relationer för uppskattning av ekonomiska förluster orsakade av marknära ozon utan att sådana istället bör baseras på fluxbaserade dos-respons-relationer. Då de svenska miljömålen i nuläget är baserade på det koncentrationsbaserade AOT₄₀ indexet har för föreliggande studie dos-repons relationer baserade endast på nordiska data tagits fram och utnyttjats.

4.3.3.1 Tidigare använda dos-respons relationer

- Vete: svenska och finska data ingående i dos-responsrelationerna presenterade i Mapping Manual (LRTAP, 2011).
- Potatis: svenska och finska data ingående i dos-responsrelationerna presenterade i LRTAP (2011).
- Övriga sädesslag: svenska data från fältkammarexperiment utförda 1989 då korns ozonkänslighet undersöktes (Pleijel m fl., 1992)
- Vall: svenska data från ozonexponeringsförsök 1992 - 1993 (Pleijel m. fl., 1996).

4.3.3.2 Ny vetenskaplig kunskap sedan 2006

Dos-responsrelationerna för vete i Mapping Manual har uppdaterats något sedan studien 2006. Numera ackumuleras ozonupptaget från -200 daggrader innan blomning till 700 daggrader efter blomning. Detta innebär att antalet dagar över vilken ozonupptaget har förkortats något. För att ackumulerings-tiden i denna studie mer exakt ska överensstämja med de 700 daggrader som gäller för fluxberäkningarna har perioden för vilken AOT₄₀ summerats justerats från 55 dagar till 54 dagar.

4.3.3.3 Revidering av dos-respons relationer

På grund av ovan nämnda uppdateringar har dos-respons sambandet för vete förändrats något jämfört med föregående studie. Förändringen är av mycket liten betydelse för tolkningen av resultaten. I Tabell 2 presenteras dos-responsfunktionerna använda i föreliggande studie.

Tabell 2 Dos-responsfunktioner (% förändring= $k \cdot \text{AOT}_{40} + m$) och ackumulerings-tid använda i föreliggande studie.

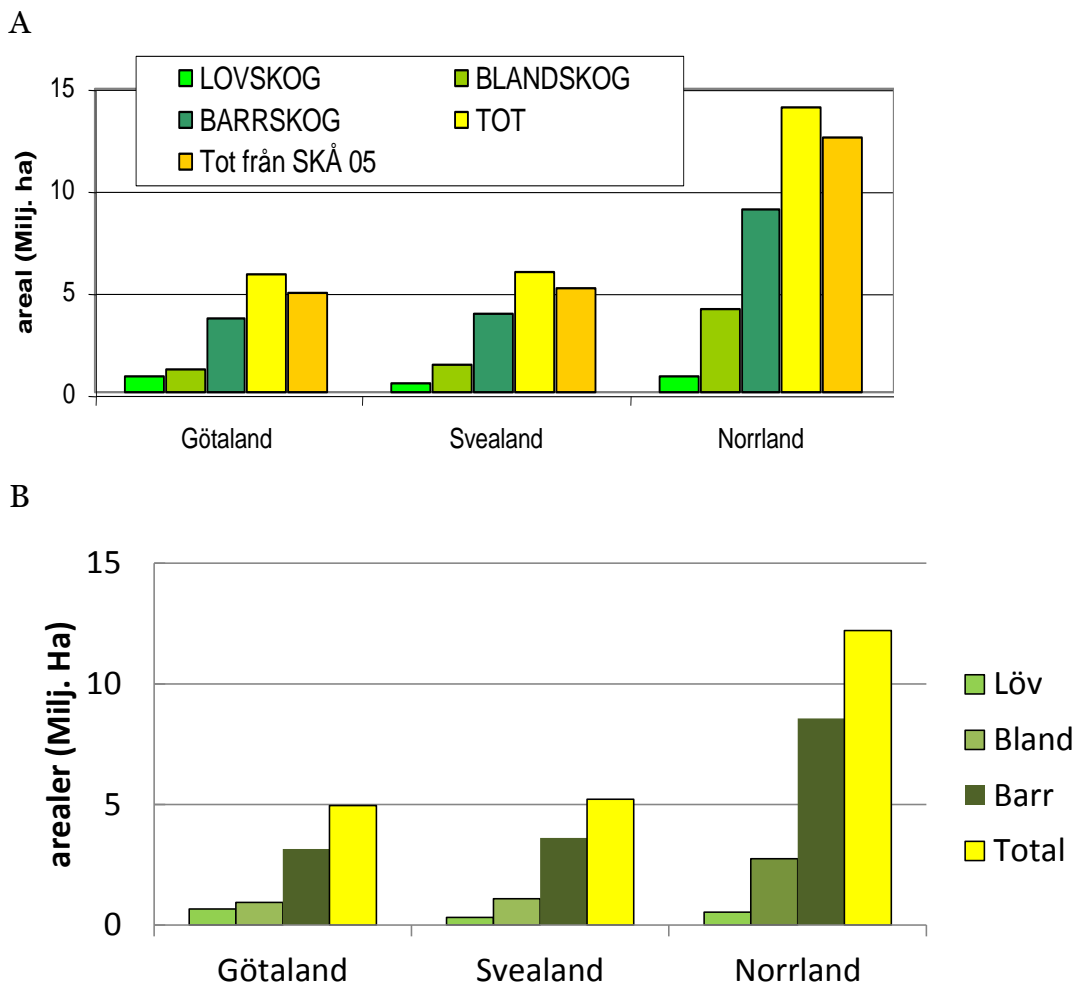
	Vete	Övriga sädeslag	Matpotatis	Potatis för stärkelse	Vall
k	-0.0199	-0.013	-0.024	-0.024	-0.0025
m	1	1	0.99	0.99	1
Antal dagar	54	54	70	70	92
Startdag	183	183	156	156	152

4.4 Markanvändning

4.4.1 Skog

Underlaget för markanvändning för skog i Sverige baserar sig på en databas som tagits fram inom det MISTRA finansierade programmet "Abatement Strategies for Transboundary Air pollution, ASTA), i sin tur grundat på satellitdata från året 1999 "RESE - Fjärranalys för miljön". Data om tillväxt hos olika trädslag har hämtats från samma databas och uppdaterats gentemot nyare data från Riksskogstaxeringen. Dessa beräkningar antas representera tillväxten under nuvarande ozonbelastning.

De arealer för olika trädslag som användes i den tidigare studien, och som baserats på Skogsstatistisk Årbok 2005, har jämförts med nyare uppgifter från Riksskogstaxeringen för perioden 2009-2013, Figur 14. Överensstämmelsen var god.



Figur 14. De arealer för olika trädslag som användes i den tidigare studien, och som baserats på Skogsstatistisk Årbok 2005 (A), har jämfört med nyare uppgifter från Riksskogstaxeringen för perioden 2009-2013 (B).

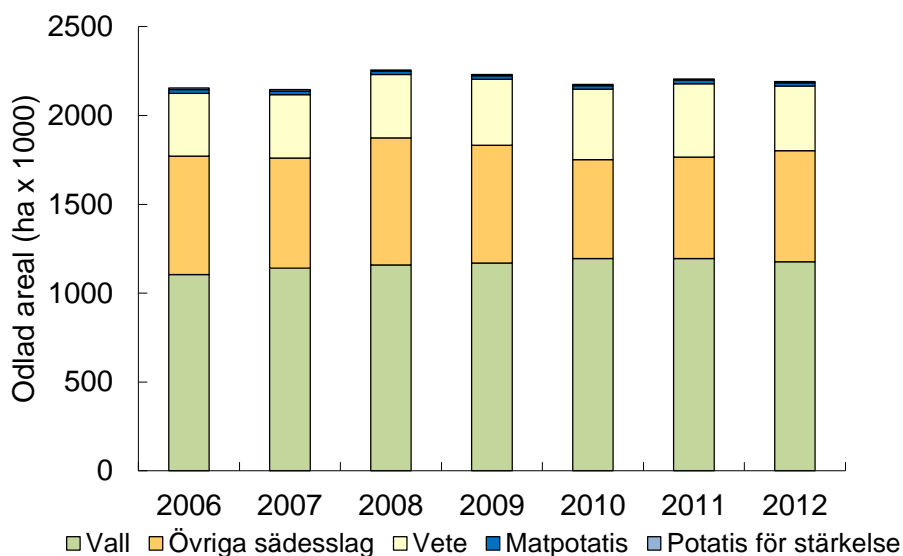
Överensstämmelsen mellan äldre och nyare uppgifter vad gäller arealer av olika trädslag bedöms som god och uppgifterna har därför inte uppdaterats i den nya studien.

4.4.2 Jordbruksgrödor

4.4.2.1 Odlingsarealer

Samtliga uppgifter om odlingsarealer för de i studien ingående åren har hämtats från Jordbruksverkets statistikdatabas. Odlingsarealerna är i underlagen fördelade per kommun och har bearbetats till att motsvara EMEP-rutorna med hjälp av motsvarande uppgifter i den föregående studien för året 2004.

I Figur 15 redovisas den svenska odlingsarealen för i studien ingående grödor för samtliga år mellan 2006 och 2012. Fördelningen av grödornas odlingsareal med avseende på landsdel presenteras i Tabell 3.



Figur 15. Areal för odling av vete, övriga sädesslag, matpotatis, potatis för stärkelse samt vall för åren 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 och 2012.

Tabell 3 Genomsnittlig fördelning på Sveriges landsdelar av ingående gröders odlingsareal.

	Vete	Övriga sädesslag	Matpotatis	Potatis för stärkelse	Vall
Götaland	67%	64%	79%	100%	57%
Svealand	33%	30%	13%	0%	25%
Norrland	0%	6%	8%	0%	18%

Med informationen i Tabell 3 som grund kan noteras att för den svenska vete- och potatisproduktion är odlingsområden belägna i Götaland de helt dominerande. Produktionen av vall är jämnare fördelad över landet med knappt 20 % av den totala odlingsytan belägen i Norrland. Den totala ytan som används för odling av vete, övriga sädesslag, potatis och vall ligger för de ingående åren mellan ca. 2.1 och 2.3 miljoner hektar. Odlingsarealerna i föreliggande studie är i ungefär samma storleksordning som arealuppgifterna i studien från 2006, med undantag för vete där odlingsarealerna då var något högre i Götaland och något lägre i Svealand.

4.5 Produktion och prisuppgifter

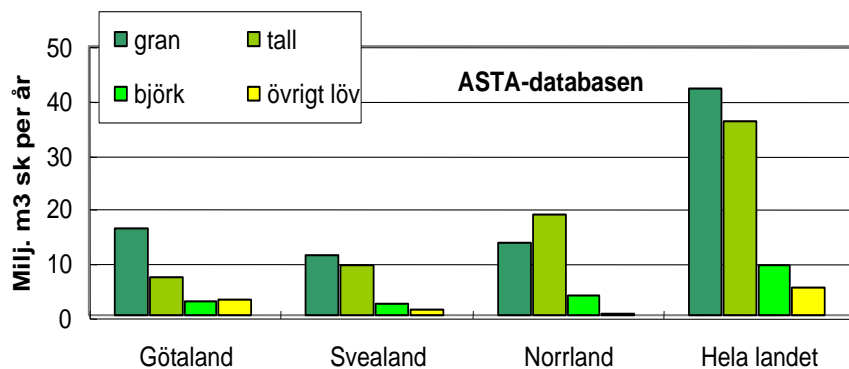
4.5.1 Skoglig produktion

Uppgifter om tillväxt, uppdelat i barr- och lövskog, hämtades i den tidigare studien från ASTA databasen och medelvärdesbildades för EMEP rutor. Utifrån dessa värden, samt värden för arealerna för respektive trädslag, beräknades tillväxten för respektive gran, tall, björk samt övrigt löv. Dessa uppgifter gällde för 1990-talet.

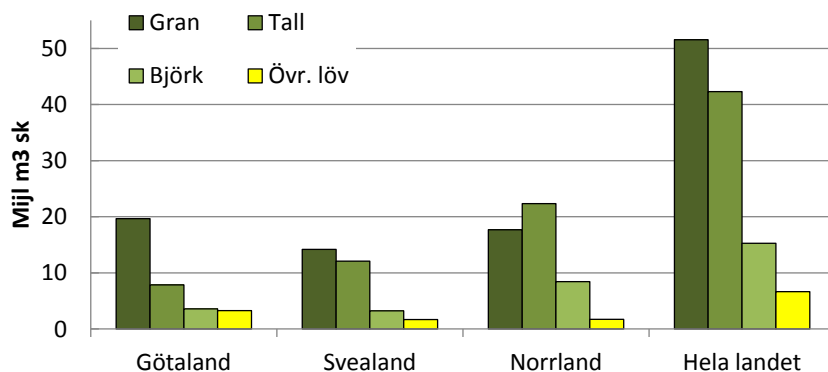
Den uppskattningen av tillväxten hos olika trädslag i olika delar av landet som gjordes i den föregående studien (Figur 16A) visar något lägre värden, jämfört med aktuella uppgifter från Riksskogstaxeringen som gäller perioden 2009-2013 (Figur 16B). Därför har tillväxthastigheter räknats upp proportionerligt för de olika EMEP-gridden i olika landsdelar. Resultaten efter dessa uppjusteringar visas i Figur 16 C.

Tillväxten för olika trädslag i olika landsdelar uppjusterades med i genomsnitt 26 % baserat på aktuella värden från Riksskogstaxeringen.

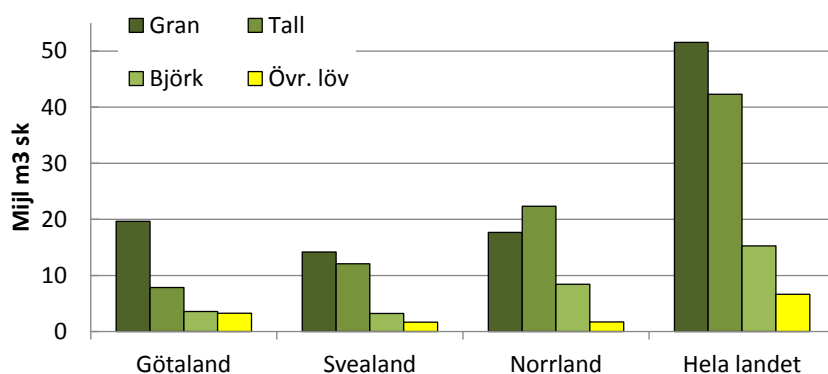
A



B



C



Figur 16. Summering av beräknad, nuvarande tillväxt med avseende på olika trädslag, för Götaland, Svealand och Norrland. A, Värderna som användes i den tidigare studien och som är relevanta för 1990-talet. B, Aktuella värden från Riksskogstaxeringen som gäller perioden 2009-2013. C, Uppjusterade värden som används i denna studie. Sistnämnda värden har räknats upp från de värden som visas i figur A, för varje gridruta med en individuell faktor för respektive trädslag och landsdel.

4.5.2 Skogliga prisuppgifter

Information om prissättning och ekonomi i samband med skogsavverkning har hämtats från Skogsstyrelsens hemsida, www.skogsstyrelsen.se. Under rubrikerna "Fakta om skog", "Statistik om skogen", samt Skogsstatistisk Årsbok, finns omfattande information produktion och ekonomi inom skogsbruket. En detaljerad beskrivning av priser och kostnader inom skogsbruket ges i Bilaga 4.

4.5.3 Produktion jordbruksgrödor

Hektarskördsunderlagen är hämtade från Jordbruksverkets statistikdatabas. Uppgifterna är där presenterade per år, län och gröda men på grund av sekretess finns inte samtliga uppgifter att tillgå. I de fall uppgifter per län har saknats har uppgifter per produktionsområden utnyttjats. Nyttjat förhållande mellan län och produktionsområde visas i Tabell 4. I några fall finns inga hektarskördeuppgifter varken per län eller produktionsområde. I dessa fall har medelskörd för Sverige ansatts.

Tabell 4 Förhållande mellan län och produktionsområden nyttjade för att uppskatta skördars storlek då uppgifter per län varit sekretesskyddade.

Län	Produktionsområde	
01 Stockholms län	Svealands slättbygder	Ss
03 Uppsala län	Svealands slättbygder	Ss
04 Södermanlands län	Svealands slättbygder	Ss
05 Östergötlands län	Götalands norra slättbygder	Gns
06 Jönköpings län	Götalands mellanbygder	Gmb
07 Kronobergs län	Götalands mellanbygder	Gmb
08 Kalmar län	Götalands mellanbygder	Gmb
09 Gotlands län	Götalands södra slättbygder	Gss
10 Blekinge län	Götalands södra slättbygder	Gss
12 Skåne län	Götalands södra slättbygder	Gss
13 Hallands län	Götalands södra slättbygder	Gss
14 Västra Götalands län	Götalands mellanbygder	Gmb
17 Värmlands län	Mellersta Sveriges skogsbygder	Ssk
18 Örebro län	Svealands slättbygder	Ss
19 Västmanlands län	Svealands slättbygder	Ss
20 Dalarnas län	Mellersta Sveriges skogsbygder	Ssk
21 Gävleborgs län	Mellersta Sveriges skogsbygder	Ssk
22 Västernorrlands län	Nedre Norrland	Nn
23 Jämtlands län	Nedre Norrland	Nn
24 Västerbottens län	Övre Norrland	Nö
25 Norrbottens län	Övre Norrland	Nö

Skördarnas storlek per hektar varierar mellan åren som en följd av att odlingsbetingelserna varierar. Till största delen antas dessa variationer bero på skiftande meteorologi mellan åren men även på olika ozonbelastning. Av Tabell 5 kan man utläsa att medelavkastningen i ton per ha av samtliga grödor tycks ha ökat något från 2006 till 2012. I jämförelse med studien från 2006 tycks medelskördarna i föreliggande studie för de flesta ingående år, vara något högre för samtliga grödor förutom vete.

Tabell 5 Min-, medel- och maxavkastning för vete, övriga sädeslag, matpotatis, potatis för stärkelse samt för vall för i studien ingående år.

Avkastning, ton/ha	Vete			Övriga sädeslag			Matpotatis			Potatis för stärkelse			Vall		
	Min	Medel	Max	Min	Medel	Max	Min	Medel	Max	Min	Medel	Max	Min	Medel	Max
2006	3.6	4.6	5.4	3.1	3.7	4.6	12.8	23.4	31.6	28.5	31.7	33.8	3.2	4.4	6.0
2007	4.4	5.2	6.6	3.9	4.5	5.1	10.7	25.0	30.9	26.5	32.1	39.4	2.8	5.0	7.3
2008	3.5	5.0	6.2	3.9	4.5	5.2	18.1	27.0	34.4	40.3	40.8	43.3	3.6	4.8	6.3
2009	2.9	5.0	7.2	3.7	4.4	5.6	14.2	26.5	38.1	39.3	40.4	44.3	3.8	5.4	6.9
2010	3.4	4.6	5.8	3.0	3.7	4.9	16.7	25.6	32.3	33.9	37.2	39.2	4.1	5.5	7.6
2011	3.6	4.6	6.4	3.3	4.0	5.2	13.1	27.9	36.2	37.8	39.2	40.9	3.1	5.0	7.7
2012	3.7	5.3	7.1	4.0	4.7	5.9	13.3	26.0	37.4	41.5	42.8	45.6	3.9	5.3	7.4

4.5.4 Prisuppgifter jordbruksgrödor

Avräkningspriserna som använts för den ekonomisk utvärdering är genomsnittliga priser för åren 2006 – 2012 (Tabell 6). Uppgifterna har hämtats från Jordbruksverkets statistikdatabas för samtliga grödor förutom för vall där priset har givits av Lantbrukarnas Riksförbund (Kjell Ivarsson, pers. kom). Dessa priser har applicerats på alla regioner i landet.

Priserna på samtliga grödor förutom för stärkelsepotatis har stigit kraftigt jämfört med föregående studie och ligger i denna studie 40 – 60% högre per ton.

Tabell 6 Genomsnittligt pris 2006 – 2012 för i studien ingående grödor

Grödeslag	Genomsnittligt pris(SEK/ton)
Vete	1574
Övriga sädeslag	1369
Matpotatis	2521
Potatis för stärkelse	477
Slätter- och betesvall	1750

Tabell 7 visar fördelning av grödor med avseende på användningsområde där produktionen av vete, matpotatis och övriga sedeslag antas vara livsmedel. När det gäller potatis för stärkelse antas denna vara användas för industriellt bruk. För vall anses hela produktionen gå till djurfoder.

Tabell 7 Fördelning av grödor med avseende på användningsområde

	Vårvete	Övriga sädeslag	Matpotatis	Potatis för stärkelse	Vall
Livsmedel	100%	100%	100%	0%	0%
Djurfoder	0%	0%	0%	0%	100%
Industriellt bruk	0%	0%	0%	100%	0%

4.6 Beräkningar

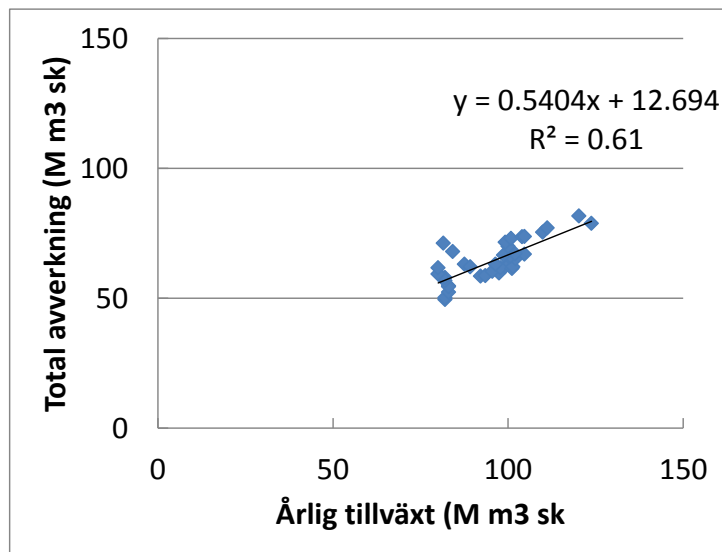
4.6.1 Generella aspekter på de ekonomiska värderingarna

4.6.1.1 Skog

Utgångspunkten för de ekonomiska beräkningarna var konsekvenserna för den enskilde markägaren. Beräkningarna gäller dock inte för varje individuellt fall, utan får ses som en statistisk beräkning som gäller sammantaget för alla markägare inom en viss gridruta, inom en viss landsdel eller för hela landet.

I beräkningarna antas att en förändring av tillväxten medför en motsvarande förändring av avverkningen, dvs att om tillväxten minskar kompenseras det inte genom en minskning av det stående virkesförrådet. Detta stöds av en analys av sambanden mellan den årliga tillväxten och den årliga avverkningen under de senaste ca 50 åren vad gäller skogen som helhet i Sverige (Figur 17). Det råder ett relativt starkt samband mellan årlig tillväxt och årlig avverkning.

Figur 17. Årliga värden för den totala tillväxten i Sveriges skogar och den årliga totala avverknings för perioden 1956 – 2006, exklusive de tre åren före och efter stormarna 1969 och 2005. Data från Riksskogstaxeringen.



Den relativt begränsade inverkan ozon har på skogens tillväxt, jämfört med frånvaro av ozonbelastning, antas inte medföra avsevärt klenare dimensioner vid avverkning. Därmed antas att den förändrade avverknade volymen har samma fördelning på timmer och massaved som dagens avverkning. Den marginellt lägre tillväxten antas inte heller orsaka några förändringar i sågtimrets kvalitetsfördelning. Utifrån dessa antaganden har dagens drivningskostnader för gallring och slutavverkning samt dagens virkespriser använts i beräkningarna för alla scenarios. Den lilla förändringen av tillväxten antas inte påverka övriga aktiviteter i skogsbruket t.ex. föryngring och röjning, vilka därmed inte påverkar det ekonomiska resultatet. De antaganden som redovisas ovan är en förenkling som inte tar hänsyn till de långa tidshorisonterna och dynamiken i skogstillståndet utan bygger på att framtidens tillstånd, trädslagsblandning m.m. antas likna dagens. Förädlingsvärdet av det produktionsbortfall som orsakas av ozon har ej inkluderats i beräkningarna eftersom av kvantitativ bedömning av dessa värden är mycket svår att göra.

Sågtimmer och massaved utgör ca. 90% av den årligen avverknade stamvedsvolymen i Sverige och står för 94% av det årliga rotnettot från all avverkning. De resterande 10% avverknad stamvedsvolymen används främst till brännved (9%) och för tillverkning av stolpar, pålar, faner, tändstickor etc. (1%). Medelpriset för dessa sortiment motsvarar priset på massaved och behandlas som detta i denna studie. Hyggesrester (GROT) som utgör 2% av rotnettot ingår ej i studien.

Den långsiktiga kolinbindningen till skogsmarken är föremål för stora forskningsinsatser och har för svenska skogar beräknats baserat på uppgifter från Riksskogstaxeringen (NIR, 2013). Hur ozonet kan påverka den långsiktiga uppbyggnaden av kolförråden i de svenska skogarna beskrivs i detalj i Bilaga 1.

Såvitt vi känner till har ännu inget ekonomiskt värde satts på kolinbindningen till de svenska skogarna. Därför inkluderas det ekonomiska värdet för ozonets negativa inverkan på uppbyggnaden av kolförråden i de svenska skogarna inte i denna studie.

4.6.1.2 Jordbruksgrödor

Vid kvantifiering av ozonets negativa inverkan på jordbruksgrödor i Sverige finns effekter relaterade både till skördens kvantitet och till dess kvalitet, till exempel proteinhalt. Förändringar i skördarnas kvantitet kan leda till utbudsförändringar, medan förändringarna av produkternas kvalitet kan leda till efterfrågeförändringar av en viss gröda. I denna studie är det enbart de kvantitativa ekonomiska effekterna av marknära ozon på utbudssidan som beaktats.

4.6.2 Beräkningarna

4.6.2.1 Skog

En detaljerad beskrivning av tillvägagång vid de ekonomiska beräkningarna ges i Bilaga 4.

4.6.2.2 Jordbruksgrödor

En detaljerad beskrivning av tillvägagång vid de ekonomiska beräkningarna ges i Bilaga 5.

5 Resultat

5.1 Skog

5.1.1 Beräkningar nationellt samt för landsdelar

5.1.1.1 Tillväxtnedsättningar

Den nuvarande ozonbelastningen 2006-2012 beräknades reducera skogstillväxten, summerat för hela landet och för alla trädslag med $-2.9 \text{ Mm}^3 \text{ år}^{-1}$ (Tabell 8). Detta motsvarar en tillväxtförändring på -3.2% . Motsvarande värde för ett scenario där det nuvarande värdet inom preciseringen för ozon och växtlighet inte överskrids i någon gridruta var $-1.2 \text{ Mm}^3 \text{ år}^{-1}$ och -1.2% (Tabell 9)

Tabell 8. De beräknade tillväxtnedsättningarna för skog beroende på nuvarande ozonbelastning 2006-2012, uttryckt som $\text{Mm}^3 \text{ år}^{-1}$ för respektive trädslag och landsdel. Inom parentes anges den procentuella förändringen.

	gran	tall	björk	övrigt löv	alla trädslag
Götaland	-0.60 (-3.0)	-0.23 (-3.0)	-0.17 (-4.8)	-0.16 (-4.9)	-1.16 (-3.4)
Svealand	-0.34 (-2.4)	-0.29 (-2.4)	-0.12 (-3.8)	-0.07 (-4.3)	-0.82 (-2.6)
Norrland	-0.29 (-1.6)	-0.38 (-1.7)	-0.23 (-2.7)	-0.05 (-2.8)	-0.94 (-1.9)
Hela landet	-1.22 (-2.4)	-0.90 (-2.1)	-0.52 (-3.4)	-0.28 (-4.2)	-2.92 (-3.2)

Tabell 9. De beräknade tillväxtnedsättningarna vid ett scenario där det nuvarande värdet inom preciseringen för ozon och växtlighet inte överskrids i någon gridruta, uttryckt som $\text{Mm}^3 \text{ år}^{-1}$ för respektive trädslag och landsdel. Inom parentes anges den procentuella förändringen.

	gran	tall	björk	övrigt löv	alla trädslag
Götaland	-0.26 (-1.3)	-0.10 (-1.3)	-0.07 (-2.1)	-0.07 (-2.1)	-0.50 (-1.4)
Svealand	-0.14 (-1.0)	-0.11 (-1.0)	-0.05 (-1.5)	-0.03 (-1.8)	-0.33 (-1.1)
Norrland	-0.10 (-0.6)	-0.13 (-0.6)	-0.08 (-0.9)	-0.02 (-1.0)	-0.33 (-0.7)
Hela landet	-0.49 (-0.9)	-0.35 (-0.8)	-0.20 (-1.3)	-0.11 (-1.79)	-1.15 (-1.2)

5.1.1.2 Ekonomisk värdering

I den tidigare studien (Karlsson m. fl., 2006a) uppgick den samlade ekonomiska inverkan av nuvarande ozonbelastning, jämfört med frånvaro av ozonbelastning, vad gäller skogs-tillväxten till 340 MSEK/år, i de nya beräkningarna uppgår de till 733 MSEK/år (Tabell 10), vilket utgör mer än en fördubbling. Högst blir värdet för Götaland (Figur 18). Skillnaden för de nya beräkningarna är nya högre värden för AOT₄₀ i synnerhet för norra Sverige, nya dos-respons relationer för barrträd samt en viss uppdatering av tillväxt och priser. Om preciseringen för ozon och växtlighet inte överskrider någonstans i Sverige minskar de samlade, årliga kostnaderna till 293 MSEK (Tabell 11, Figur 19), dvs de mer än halveras jämfört med nuvarande ozonbelastning.

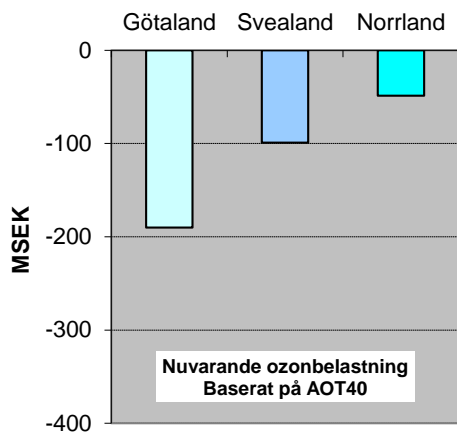
Tabell 10. Det ekonomiska värdet av beräknade tillväxtnedsättningarna för skog beroende på nuvarande ozonbelastning 2006-2012, uttryckt som MSEK år⁻¹ för respektive trädslag och landsdel.

	gran	tall	björk	övrigt löv	alla trädslag
Götaland	-200	-73.0	-37.6	-31.1	-341
Svealand	-83.4	-72.6	-21.1	-7.0	-184
Norrland	-67.2	-98.7	-38.0	-3.7	-208
Hela landet	-350	-244	-96.6	-41.9	-733

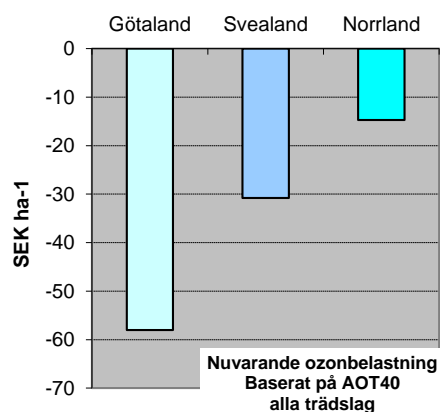
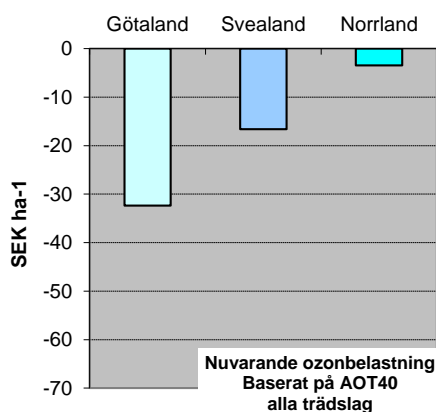
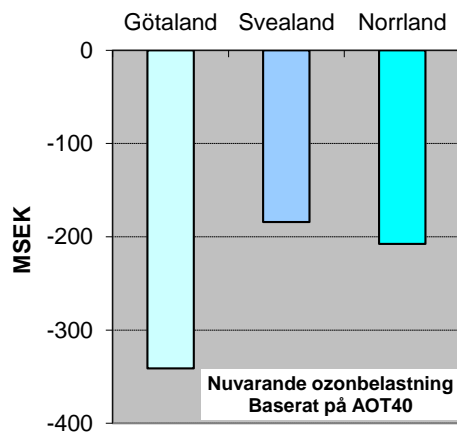
Tabell 11. Det ekonomiska värdet av beräknade tillväxtnedsättningarna för skog vid ett scenario där det nuvarande värdet inom preciseringen för ozon och växtlighet inte överskrider i någon gridruta, uttryckt som MSEK år⁻¹ för respektive trädslag och landsdel.

	gran	tall	björk	övrigt löv	alla trädslag
Götaland	-85.5	-31.3	-16.1	-13.2	-146
Svealand	-33.6	-29.2	-8.5	-2.9	-74.1
Norrland	-23.1	-34.8	-13.2	-1.3	-72.4
Hela landet	-142	-95.3	-37.8	-17.3	-293

Tidigare

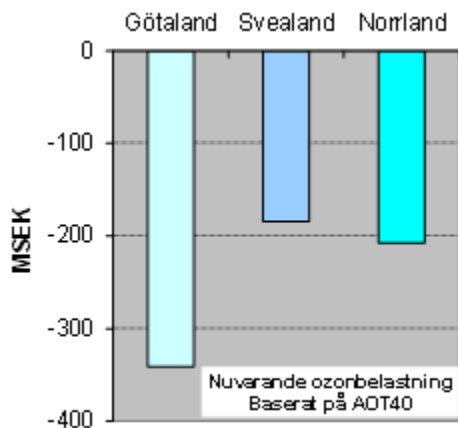


Nya beräkningar

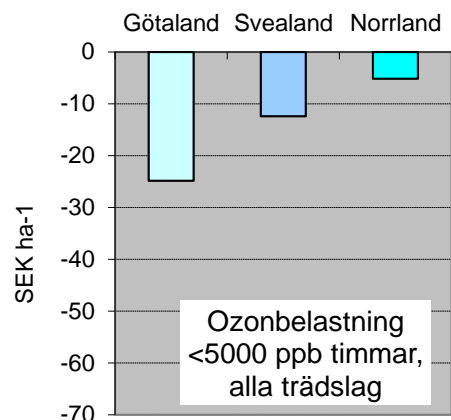
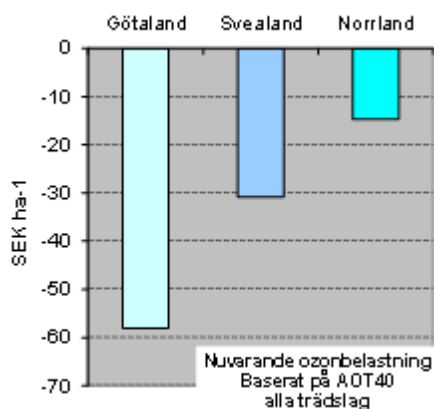
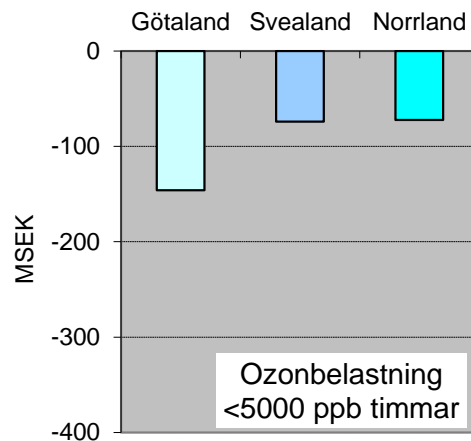


Figur 18. En jämförelse av nya och gamla beräkningar vad gäller inverkan av nuvarande ozonbelastning i omgivningsluften på skog. Summerat beräknat värde, MSEK per år, för produktionsnedsättning i skogsbruket i Sverige orsakat av nuvarande ozonbelastning jämfört med ett scenario med förindustriella ozonhalter. Summerat separat för Norrland, Svealand och Götaland, gemensamt för alla trädslag. Tidigare beräkningar till vänster, nya till höger. Överst summerade värden för olika landsdelar, nederst påverkan per hektar skog.

Omgivningshalt 2006-2012



Max AOT40 <5000 ppb timmar



Figur 19. En jämförelse av nuvarande ozonbelastning i omgivningsluften vad gäller inverkan på skog. Summerat beräknat värde, MSEK per år, för produktionsnedsättning i skogsbruket i Sverige orsakat av ett ozon scenario där värdet inom den nuvarande preciseringen för ozon och växtlighet, 5000 ppb timmar AOT40 apr-sep, inte överskrider, jämfört med ett scenario med förindustriella ozonhalter. Summerat separat för Norrland, Svealand och Götaland, gemensamt för alla trädslag. Överst summerade värden för olika landsdelar, nederst påverkan per hektar.

5.1.2 Beräkningar för värst ozonutsatta områden

Ovan angivna värden gäller summerat för alla skogsägare inom landet respektive för respektive landsdel. Det kan vara av intresse att ange värden för minskad tillväxt samt ekonomiskt värde för de skogsägare som finns i de värst ozonutsatta delarna av landet, t ex i Skåne. I Tabell 12 anges detta för en gridruta 59_59 (se karta i Figur 4), som omfattar en del av nordvästra Skåne där ozonbelastningen är bland de högsta i landet och där det finns betydande arealer av både skogs- och jordbruksmark. Tillväxtnedsättningen för gran och

tall beroende på nuvarande ozonbelastning blir här -4.2 och för lövträd -6.8 %. Vid ett scenario där det nuvarande värdet inom preciseringen för ozon och växtlighet inte överskrider någonstans i Sverige reduceras denna ozonpåverkan till -2.0 respektive -3.2 %. Det ekonomiska värdet för de tillväxtnedsättningar som beror på nuvarande ozonbelastning värderas till -130 SEK/ha/år för gran och tallskog och -80 SEK/ ha/ år för björk och -60 SEK/ha/år för övrigt löv. Dessa ekonomiska värden reduceras till -60 SEK/ ha/ år respektive -30 - -40 SEK/ ha/år för björk/övrigt löv vid ett scenario där preciseringen för ozon och växtlighet inte överskrider.

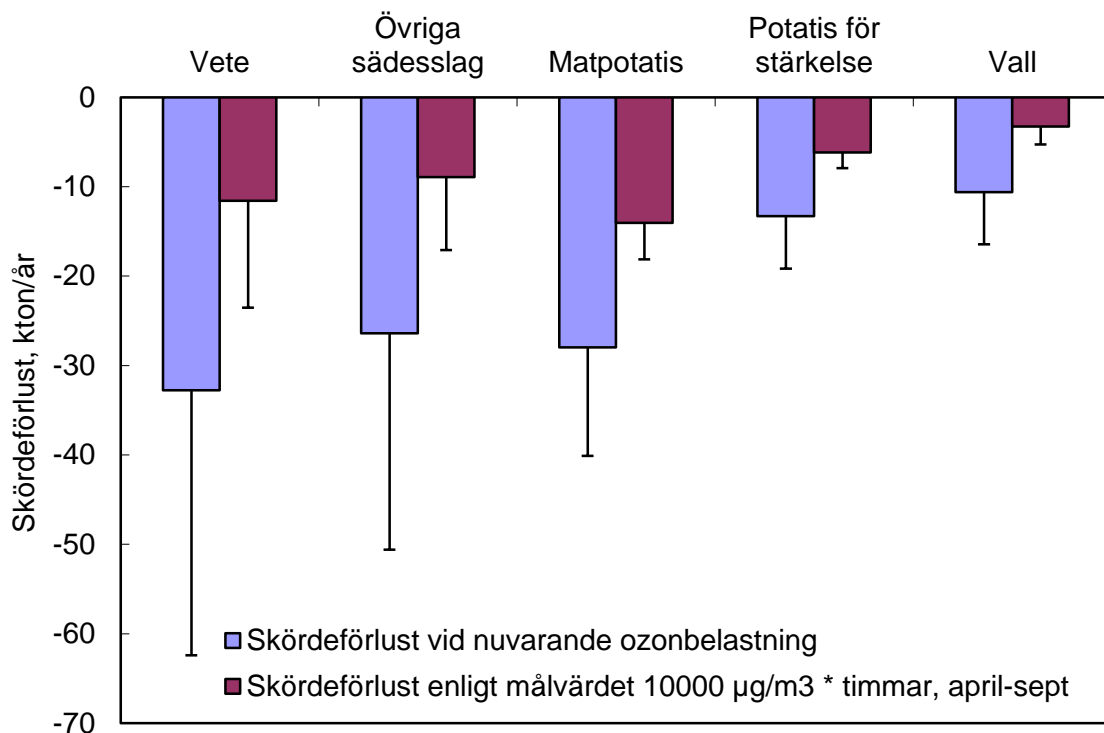
Tabell 12. Den beräknade tillväxten samt det ekonomiska värdet vid olika ozonscenarier i en gridruta med en hög ozonbelastning i Skåne, gridruta 59_59, där ozonbelastningen är bland de högsta i landet. Värden anges summerat för gridrutan samt per hektar skog av trädslaget ifråga. Den nuvarande ozonbelastningen som medelvärde 2006-2012 beräknas till 17 000 µg/m³ timmar AOT40 april-september samt för ett ozonscenario där det nuvarande värdet inom preciseringen för ozon och växtlighet inte överskrider någonstans i Sverige till 8 000 µg/m³ timmar AOT40 april-september. Med "utan ozon" menas ett ozonscenario med förindustriella ozonhalter.

Gridruta 59_59		gran	tall	björk	övrigt löv
Arealer, ha/gridruta		40164	972	13405	31244
Tillväxt, m³sk/ år/ gridruta	Utan ozon	468963	12351	87653	165955
	Nuvarande ozon	449041	11826	81696	154675
	Ozon <5000 ppb tim	459541	12102	84836	160620
	% förändring nuvarande vs utan ozon	-4.2	-4.2	-6.8	-6.8
	% förändring <5000 ppb tim vs utan ozon	-2.0	-2.0	-3.2	-3.2
Inkomstminskning, kSEK/ ha skog/ år, jämfört med ett scenario med förindustriella ozonhalter.	Nuvarande ozon	-0.13	-0.13	-0.08	-0.06
	Ozon <5000 ppb tim	-0.06	-0.06	-0.04	-0.03

5.2 Jordbruksgrödor

5.2.1 Skördeförlost

I Figur 20 presenteras uppskattade genomsnittliga skördeförlost vid nuvarande ozonbelastning och vid ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inte överskrids. När det gäller vete skulle skörden vara drygt 20 kton högre per år vid ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inte överskrids, jämfört med nuvarande ozonbelastning. Variationen mellan åren är dock stor, vilket indikeras av felstaplarna i figuren. Den högsta beräknade skördeförlusten vid nuvarande ozonbelastning var för vete ca. 88 kton för 2006 medan den lägsta var ca. 6 kton för 2008. Motsvarande siffror för matpotatis är 52 kton för 2006 och 14 kton för 2012.



Figur 20 Uppskattade skördeförlost, kton/år, av de i studien ingående grödorna vid nuvarande ozonbelastning och vid ozonbelastning i ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inte överskrids. Medelvärden samt ± standardavvikelse.

I Tabell 13 presenteras de beräknade skördeförlosterna vid nuvarande ozonbelastning fördelade per landsdel och i Tabell 14 motsvarande uppgifter för ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inte överskrids.

Tabell 13 Beräknad skördeförlost (kton/år) i medeltal vid nuvarande ozonbelastning jämfört med vid avsaknad av ozonbelastning, uppdelat på grödeslag och landsdel.

	Götaland	Svealand	Norrland	Hela landet
Vete	-25.6	-7.2	0.0	-32.8
Övriga sädeslag	-20.4	-5.6	-0.4	-26.4
Matpotatis	-25.0	-2.4	-0.6	-28.0
Potatis för stärkelse	-13.3	0.0	0.0	-13.3
Vall	-8.0	-2.2	-0.4	-10.6

Tabell 14 Beräknad skördeförlost (kton/år) i medeltal vid ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inom miljömålet Frisk Luft inte överskrids jämfört med vid avsaknad av ozonbelastning, uppdelat på grödeslag och landsdel.

	Götaland	Svealand	Norrland	Hela landet
Vete	-9.2	-2.3	0.0	-11.6
Övriga sädeslag	-7.1	-1.7	-0.1	-8.9
Matpotatis	-12.5	-1.2	-0.3	-14.0
Potatis för stärkelse	-6.2	0.0	0.0	-6.2
Vall	-2.5	-0.6	-0.1	-3.2

5.2.2 Ekonomiska förluster

I Tabell 15, Tabell 16 och Figur 21 redovisas de uppskattade ekonomiska konsekvenserna av marknära ozon på grödors avkastning. Figuren redovisar effekterna vid nuvarande ozonbelastning och vid ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inom miljömålet Frisk Luft inte överskrids. Av tabellen och figuren kan utläsas att nuvarande ozonbelastning orsakar skördeföruster med ekonomiskt värde på ca 180 MSEK årligen (Tabell 15). Variationen mellan åren är stor och för 2006 uppskattas det ekonomiska värdet på grund av skördeföruster vara så höga som dryga 420 MSEK. I jämförelse med föregående studie från 2006 är den ekonomiska förlusten i medeltal nu något högre, 183 MSEK jämfört med 164 MSEK. En stor del av förklaringen beror på den kraftiga ökningen av avräkningspriserna från 2006 eftersom det beräknade skördebortfallet i föregående studie i medeltal var något högre. Beräknade skördeföruster varierar dock stort mellan åren. För 2006 var förlusterna mer än dubbelt så höga jämfört med förlusten beräknad i medeltal för 2006 – 2012.

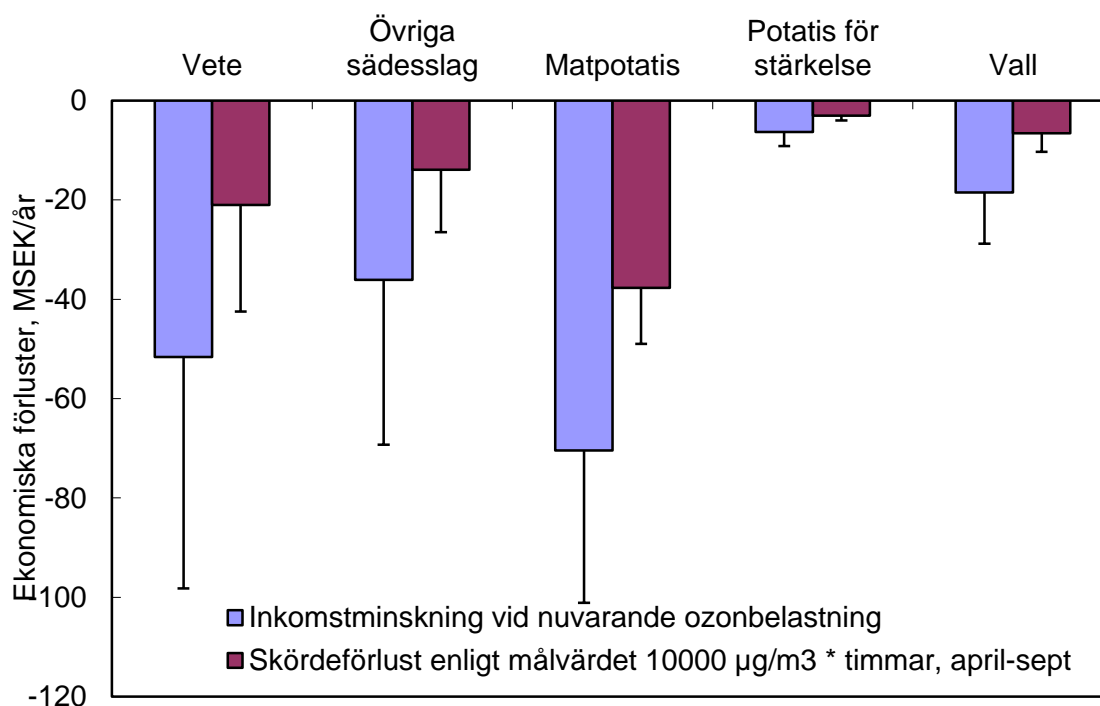
Vid ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inom miljömålet Frisk Luft inte överskrids så mer än halveras de ekonomiska konsekvenserna av skördeföruster orsakade av marknära ozon, från 183 MSEK till 74 MSEK (Tabell 16).

Tabell 15 Beräknade ekonomiska förluster (MSEK/år) i medeltal vid nuvarande ozonbelastning jämfört med vid avsaknad av ozonbelastning, uppdelat på grödeslag och landsdel.

	Götaland	Svealand	Norrland	Hela landet
Vete	-40.2	-11.3	-0.06	-51.6
Övriga sädeslag	-27.9	-7.72	-0.51	-36.1
Matpotatis	-63.1	-5.95	-1.41	-70.5
Potatis för stärkelse	-6.34	-0.00	-0.00	-6.34
Vall	-14.1	-3.79	-0.68	-18.5

Tabell 16 Beräknade ekonomiska förluster (MSEK/år) i medeltal vid ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inom miljömålet Frisk Luft inte överskrids, jämfört med vid avsaknad av ozonbelastning, uppdelat på grödeslag och landsdel.

	Götaland	Svealand	Norrland	Hela landet
Vete	-14.50	-3.67	-0.02	-18.19
Övriga sädeslag	-9.71	-2.37	-0.11	-12.19
Matpotatis	-31.42	-3.09	-0.86	-35.37
Potatis för stärkelse	-2.94	-0.00	-0.00	-2.94
Vall	-4.43	-1.12	-0.13	-5.68



Figur 21 Ekonomiska förluster, MSEK år⁻¹, orsakade av marknära ozon på de i studien ingående grödorna vid nuvarande ozonbelastning samt vid ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inom miljömålet Frisk Luft inte överskrids jämfört med vid avsaknad av ozonbelastning. Medelvärden samt ± standardavvikelse.

En mer nyanserad bild av konsekvenserna för den enskilde bonden i områden med den högsta ozonbelastningen ges i tabellerna 17 och 18. I tabellerna presenteras beräkningar av de årliga ekonomiska effekterna för nuvarande ozonbelastning för perioden 2006 – 2012 samt för ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inom miljömålet Frisk Luft inte överskrids. Tabellerna visar de beräknade ekonomiska förlusterna för samtliga grödeslag för en gridruta (59_59) med både jordbruks- och skogsmark som har haft en hög ozonbelastning under 2006 – 2012. Rutan är belägen i nordvästra Skåne.

Förlusten (SEK/ha) är för exempelrutan i nordvästra Skåne jämförbar med den maximala förlusten i Götaland (data visas ej). Det totala värdet av skördebortfallet i exempelrutan i nordvästra Skåne var 2006 ca 46 MSEK. De maximala ekonomiska förlusterna per hektar minskar kraftigt vid ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inom miljömålet Frisk Luft inte överskrids, jämfört med nuvarande ozonförekomst. Minskningen varierar mellan landsdelar och grödor men är i medeltal i storleksordningen 70 – 85% (data visas ej). Den ekonomiska förlusten för exempelrutan skulle, vid ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inom miljömålet Frisk Luft inte överskrids, ha varit drygt 10 MSEK.

Tabell 17 Maximala beräknade ekonomiska förluster (SEK/ha) vid nuvarande ozonbelastning jämfört med vid avsaknad av ozonbelastning. Preciserat för alla ingående grödor, för olika landsdelar samt för gridruta 59_59 i nordvästra Skåne. Uppgifterna för nuvarande ozonbelastning representerar 2006.

	Götaland	Svealand	Norrland	NV Skåne
Vete	-626	-530	-222	-621
Övriga sädeslag	-309	-252	-93	-306
Matpotatis	-7829	-8638	-3499	-7813
Potatis för stärkelse	-1766	0	0	-1766
Vall	-61	-68	-27	-60

Tabell 18 Maximala beräknade ekonomiska förluster (SEK/ha) vid ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inom miljömålet Frisk Luft inte överskrids, jämfört med vid avsaknad av ozonbelastning. Preciserat för alla ingående grödor, för olika landsdelar samt för exempelruta 59_59 i nordvästra Skåne. Uppgifterna för nuvarande ozonbelastning representerar 2006.

	Götaland	Svealand	Norrland	NV Skåne
Vete	-125	-122	-38	-123
Övriga sädeslag	-62	-58	-16	-61
Matpotatis	-2686	-2618	-978	-2200
Potatis för stärkelse	-576	0	0	-497
Vall	-12	-12	-4	-8

5.3 Sammanlagd ekonomisk värdering av ozonets negativa inverkan på jordbruksgrödor och skog i Sverige

Sammantaget beräknas de ekonomiska värdena vad gäller ozonets negativa inverkan på skogstillväxt och för skördeförsluster till 913 MSEK/år vid nuvarande ozonbelastning, som ett medelvärde för perioden 2006-2012, och till 367 MSEK/år vid ett scenario där målvärdet för ozon och växtlighet inte överskrids vid någon plats i Sverige (Tabell 19). Jämförelserna gäller mot ett scenario i avsaknad av ozonbelastning motsvarande ozonbelastningen i förindustriella tider, då ozonhalterna aldrig överskred 80 µg/m³ (40 ppb).

Tabell 19. De beräknade ekonomiska värdena (MSEK/år) för en tillväxtnedsättning i den svenska skogen respektive ett produktionsbortfall i det svenska jordbruket orsakat av ozonbelastningen i två olika scenarier; 1. Den nuvarande ozonbelastningen 2006-2012; 2. Ett scenario där det nuvarande målvärdet för preciseringen för ozon och växtlighet inom miljömålet Frisk Luft inte överskrids vid någon plats i Sverige. Jämförelsen görs med ett förindustriellt ozonsscenario där AOT₄₀ = 0, dvs där ozonhalten 80 µg/m³ (40 ppb) aldrig överskrids.

MSEK/år	Nuvarande ozonbelastning	Scenario där målvärdet ej överskrids
Skogstillväxt	733	293
Skördebortfall	180	74
Totalt	913	367

6 Diskussion av resultaten

6.1 Markanvändning samt skoglig- och jordbruksstatistik

De statistiska uppgifterna om markanvändning och skoglig tillväxt respektive skördeutfall som använts i denna studie bedömer vi som tillförlitliga och de ger sannolikt inte upphov till några osäkerheter i beräkningarna.

6.2 Yttäckande beräkningar av ozonbelastningar

De ozonhalter som beräknats med MATCH-modellen för en nivå 3 m över mark bedömer vi som mycket tillförlitliga, även om det i viss mån saknas möjligheter till en oberoende validering, detta genom att ozonmätningar använts för att justera modellerade värden.

Beräkningar av ozonhalter som är relevanta för exponeringen av olika växtslag kan potentiellt ge upphov till stora fel vad gäller att beräkna AOT₄₀. Vi bedömer dock att vi för detta använt metoder som är baserade på aktuell vetenskaplig kunskap. Vad gäller sädesslagen och vall har metodik använts så som det beskrivs i LRTAP-konventionens Mapping Manual. Vad gäller exponeringen av

skog har vi använt oss av vetenskapligt publicerade resultat från mätningar av ozonhalter på olika höjder utanför och inne i en granskog i södra Sverige.

6.3 Kvantitativa effektbedömningar

När det gäller dos-respons relationer för ozonets inverkan på jordbruksgrödor är dessa sedan tidigare år relativt välgrundade och har inte förändrats nämnvärt i denna nya studie. I jämförelse med föregående studie från 2006 (Karlsson m. fl., 2006a) är den beräknade ekonomiska förlusten för skördebortfall orsakad av nuvarande ozonbelastning på samma nivå, men något högre, 183 MSEK jämfört med 164 MSEK. Detta beror på den kraftiga ökningen av avräkningspriserna från 2006 eftersom det beräknade skördebortfallet i föregående studie i medeltal var något högre.

När det gäller dos-respons relationer för ozonets inverkan på träd tillväxten är osäkerheterna avsevärt större, i synnerhet när det gäller gran och tall. I den tidigare studien från 2006 användes ett värde -2 % när det gällde nedsättningen av tillväxten för gran och tall vid en årlig ozonbelastning som är vanligt förekommande i södra Sverige, 20 000 µg/m³ timmar. I den nya studien ändrades detta värde till -5 %. Detta får en dominerande betydelse för de samlade beräkningarna av det ekonomiska värdet av den minskade träd tillväxten beroende på nuvarande ozonbelastning. Det ekonomiska värdet av den minskade skogstillväxten beroende på nuvarande ozonbelastning beräknades till 733 MSEK/år, ett värde som är mer än dubbelt så högt jämfört med motsvarande värde som beräknades vid den tidigare studien 2006. I genomgången av ny vetenskaplig kunskap vad gäller ozonets inverkan på träd tillväxten fanns det dock flera studier som tydde på effekterna av ozon skulle kunna vara ännu större, med en tillväxtnedsättning runt -10 % per 20 000 µg/m³ timmar. Som redovisats ovan antogs dock värdet -5 % som en konservativ uppskattning.

6.4 Icke-monetära värden

Det finns andra sätt som ozonets påverkar växtligheten i Sverige, utöver en direkt nedsättning av skogstillväxt samt skördebortfall. Dessa kan relateras till andra typer av s.k. "ekosystemtjänster" som är svåra att sätta ett direkt ekonomiskt värde på. Att beräkna detta faller utanför denna studie. Ett exempel ges dock nedan.

En vanligt förekommande effekt av ozon är att förorsaka ett för tidigt åldrande hos bladen (t ex Pleijel m fl., 1997, Karlsson m. fl., 2009). Vad gäller lövfällande träd kan detta resultera i att bladen dör i förtid fortfarande sittande på trädet, innan alla processer vad gäller tillbakadragandet av kväve in till veden har avklarats (Uddling m. fl., 2006). Detta resulterar i att bladen inte får sina normala, klara höstfärger, se figur 22. Det finns därför en möjlighet att höga

ozonbelastningar resulterar i att lövfällande träd om hösten i mindre utsträckning uppvisar de klara höstfärger som många människor finner tilltalande. Detta måste anses ha klara estetiska värden som dock är svåra att sätta ekonomiska värden på.



Figur 22. Fotografier av synliga ozonskador på bladen hos björk (överst) och ask (underst). Fotografiet av björk kommer från ett experiment med fältkammare vid Östads Säteri, nordost om Göteborg, där björkar utsattes för förhöjda ozonhalter under två år. Under en normal åldring av bladen hos björk förblir bladnerverna i det längsta gröna, medan området mellan bladnerverna blir gult. Fotografiet av ask kommer från ICP Forests hemsida (<http://www.gva.es/ceam/ICP-forests/>), där man visar en fotoatlas över synliga ozonskador på blad från Europeiska trädarter.

7 Referenser

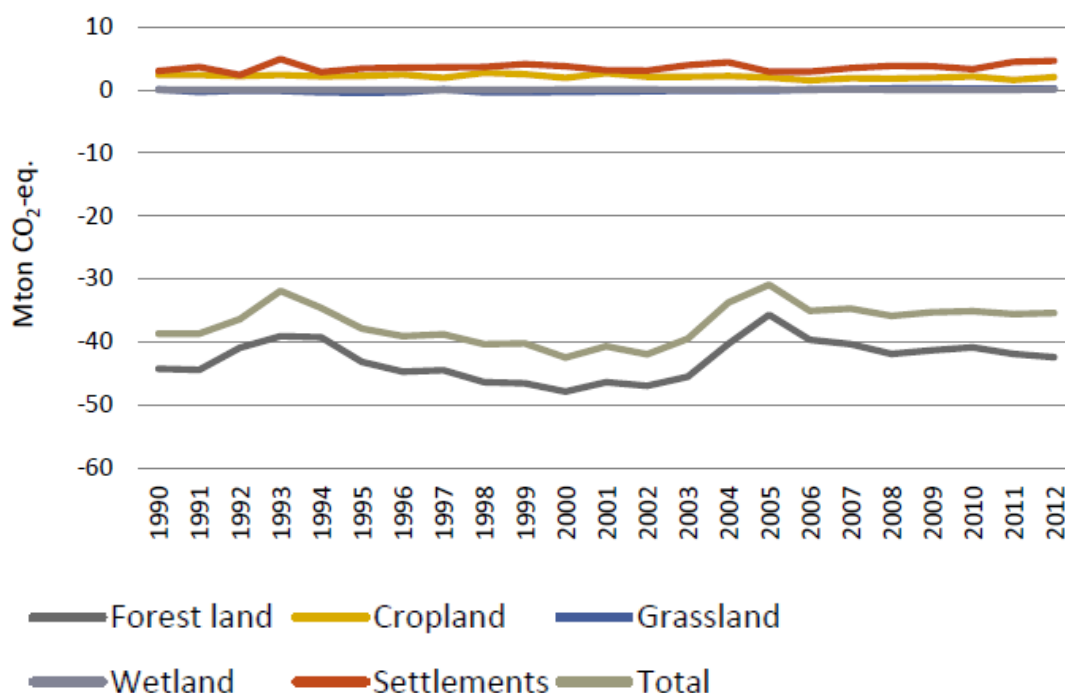
- Andersson, C., Södergren, H. och Torstensson, M. 2014. Metodförändring och utvärdering av MATCH-Sverigesystemet. SMHI rapport nr 2014-16.
- Danielsson m. fl., 2014. Pågående studie.
- EU, 2008. Europaparlamentets och Rådets direktiv 2008/50/EG av den 21 maj 2008 om luftkvalitet och renare luft i Europa.
- Fuhrer, J., Skärby, L., Ashmore, M. R. 1997. Critical levels for ozone effects on vegetation in Europe. *Environmental Pollution* 97, 91-106.
- Karlsson, P.E., J. Uddling, L. Skärby G. Wallin, G. Selldén. 2003. Impact of ozone on the growth of birch (*Betula pendula*) saplings. *Environmental Pollution*, 124, 485-495.
- Karlsson, P.E., Pleijel, H. 2005. Komplettering av delmålet för marknära ozon vad beträffar skyddet för växtlighet. IVL Rapport U 1117.
- Karlsson, P.E., Pleijel, H., Belhaj, M., Danielsson, H., Dahlin, B., Andersson, M., Hansson, M., Munthe, J., Grennfelt, P. 2005. Economic assessment of the negative impacts of ozone on the crop yield and forest production. A case study of the Estate Östads Säteri in southwestern Sweden. *Ambio*, 34, 32-40.

- Karlsson, P.E., Pleijel, H., Danielsson, H., Belhaj, M., Andersson, M., Hellsten, S. 2006a. En ekonomisk utvärdering av inverkan av marknära ozon på växtligheten i Sverige i relation till föreslagna miljömål. IVL Rapport B 1678.
- Karlsson, P.E., Hansson, M., Höglund, H.-O. and Pleijel, H. 2006b. Ozone concentration gradients and wind conditions in Norway spruce (*Picea abies*) forests in Sweden. *Atmospheric Environment* 40, 1610-1618.
- Karlsson, P.E., Örländer, G., Langvall, O., Uddling, J., Hjorth, U., Wiklander, K., Areskoug, B., Grennfelt, P. 2006c. Negative impact of ozone on the stem basal area increment of mature Norway spruce in south Sweden. *Forest Ecology and Management* 232, 146-151.
- Karlsson, P.E., Pleijel, H., Simpson, D. 2009. Ozone exposure and impacts on vegetation in the Nordic and Baltic Countries. *Ambio*, 8, 402-405.
- LRTAP 2011. Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends. UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (Available and continuously updated at www.icpmapping.org).
- Löw, M., m. fl. 2012. Multivariate analysis of physiological parameters reveals a consistent O₃ response pattern in leaves of adult European beech (*Fagus sylvatica*). *New Phytologist* 196, 162-72.
- Oksanen, E., Sirkku Manninen, Elina Vapaavuori and Toini Holopainen. 2009. Near-ambient Ozone Concentrations Reduce the Vigor of *Betula* and *Populus* Species in Finland. *Ambio* 38, 413-417.
- Pleijel, H., Skärby, L., Ojanperä, K., Selldén, G. 1992. Yield and quality of spring barley, *Hordeum vulgare* L., exposed to different concentrations of ozone in open-top chambers. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 38, 21-29.
- Pleijel, H., Pihl Karlsson, G., Sild, E., Danielsson, H., Skärby, L., Selldén G. 1996. Exposure of a grass-clover mixture to ozone in open-top chambers - effects on yield, quality and botanical composition. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 59, 55-62.
- Pleijel, H., Ojanperä, K., Danielsson, H., Sild, E., Gelang, J., Wallin, G., Skärby, L. & Selldén, G. (1997). Effects of ozone on leaf senescence in spring wheat - possible consequences for grain yield. *Phyton* 37, 227-232.
- Pretzsch, H., m. fl., 2010. Tree and stand growth of mature Norway spruce and European beech under long-term ozone fumigation. *Environmental Pollution* 158, 1061-1070.
- Skärby, L., Wallin, G., Selldén, G., Karlsson, P.E., Ottosson, S., Sutinen, S. & Grennfelt, P. 1995. Tropospheric ozone - a stress factor for Norway spruce in Sweden. - *Ecological Bulletins* 44, 133-146.
- Subramanian, N, Karlsson, P.E, Bergh, J, Nilsson, U. Impact of Ozone on carbon sequestration by Swedish forests under changing climate: A modeling study. Accepted i *Forest Science*, September 2014.

- Södergren, H., Holmin-Fridell, S., Andersson, C. och Persson, C. 2013. Nationell miljöövervakning med MATCH-Sverigesystemet – metodik och resultat för åren 1998-2011. SMHI rapport nr 2013-35.
- Uddling, J., Karlsson, P.E., Glorvigen, A., Selldén, G. 2006. Ozone impairs autumnal resorption of nitrogen from birch (*Betula pendula*) leaves, causing an increase in whole-tree nitrogen loss through litter fall. *Tree Physiology* 26, 113-120.
- Wallin, G., Karlsson, P-E., Selldén, G., Ottosson, S., Medin E-L., Pleijel, H. and Skärby, L. 2002. Impact of four years exposure to different levels of ozone, phosphorus and drought on chlorophyll, mineral nutrients, and stem volume of Norway spruce, *Picea abies*. *Physiologia Plantarum* 114, 192-206.

8 Bilaga 1. Beskrivning av inverkan av ozon på kolupplagringen i den svenska skogen

Sverige rapporterar årligen Sveriges utsläpp och upptag av växthusgaser till FN's klimat-konvention, UNFCCC ("National Inventory Report", NIR, Naturvårdsverket, 2014). I denna rapportering ingår sektorn "Markanvändning, Förändrad markanvändning och Skogsbruk" (Landuse- Landuse change and Forestry, LULUCF), kallas i det följande för "markanvändning".



Figur B1.1. Utsläpp och upptag av växthusgaser från olika delar av sektorn markanvändning. Av konvention beräknas ett upptag av kol från atmosfären till mark och växtlighet med negativa värden (CO₂ avlägsnas från atmosfären).

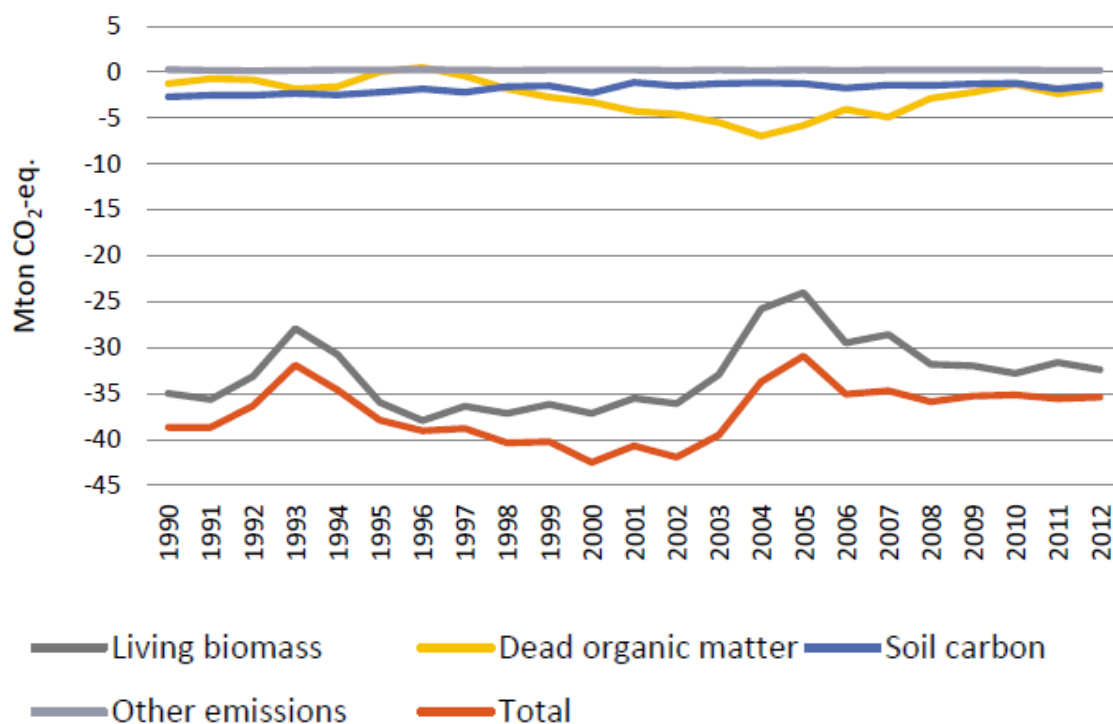
Källa: Sveriges rapport till FN's klimatkonvention (Naturvårdsverket, 2014)

I Figur B1.1 framgår att sektorn markanvändning i Sverige under perioden 1990–2011 utgör en nettosänka genom att koldioxid från luften tas upp av vegetationen och binds in i biomassan. Nettosänkan har under årens lopp varierat mellan 27 och 38 miljoner ton koldioxidekvivalenter. År 2012, det senaste år man rapporterar uppgick sänkan till 35 miljoner ton koldioxidekvivalenter, vilket motsvarar 57 procent av utsläppen av växthusgaser från alla övriga sektorer. Det framgår av Figur B1.1 att det är skogsmarken som står för det största upptaget av CO₂. Med skogsmark avses här hela

skogsekosystemet, inklusive levande biomassa, död biomassa (inkluderar markens översta skikt) samt markkol, vilket utläses som kolet i de djupare markskikten.

Beräkningarna för skogsmarken baserar sig på Riksskogstaxeringens skogliga inventeringar. Den omfattar ca 30 000 observationsytor som löpande besöks ungefär vart 5:e år. Vid varje besök mäter man in storleken på befintliga träd och beräknar hur mycket kol som finns i den levande biomassan, inklusive rötter. Man beräknar också hur mycket kol som finns i död ved samt i markens översta del. Även mängden kol som ligger i djupare jordlager inventeras inom den s.k. Markinventeringen, men mindre frekvent eftersom förändringar i dessa kolförråd sker långsammare och att dessa inventeringar är mycket arbetskrävande.

I figur B1.2 visas de årliga förändringarna i de olika kolförråden inom skogsmarken. Ett minustecken indikerar ett upptag, dvs att CO₂ avlägsnas från atmosfären.

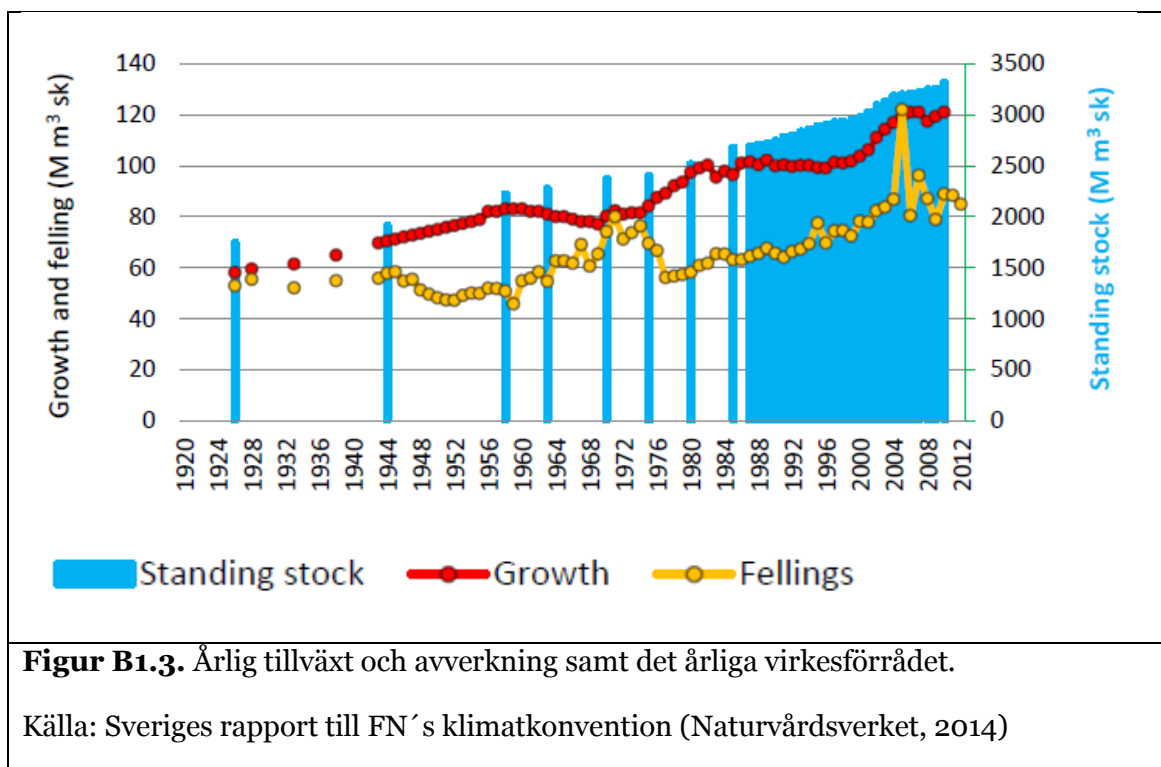


Figur B1.2. Utsläpp och upptag av växthusgaser från olika delar av kolförråden inom skogsmarken ("forest land"). Av konvention beräknas ett upptag av kol från atmosfären till mark och växtlighet med negativa värden (CO₂ avlägsnas från atmosfären).

Källa: Sveriges rapport till FN's klimatkonvention (Naturvårdsverket, 2014)

Det framgår att figur B1.2 den överväldigande delen att CO₂-upptaget till skogsekosystemen beror på en ökning av kolförråden inom den levande biomassan. Det sker även en betydande ökning av kolförrådet i markkolet på mineraljordar, men det sker en nästan lika stor avgång av kol genom en minskning av kolförrådet i organiska jordar, dvs skog på torvmarker. Summan av dessa komponenter för markkol blir därför nära noll.

Ökningen av kolförrådet i den levande biomassan har således en mycket stor betydelse för det stora årliga nettoupptag av CO₂ som sker till skogsekosystemen. Upplagringen av kol i den levande biomassan i den svenska skogen beror i huvudsak på ökningen i det s.k. virkesförrådet, vilket i sin tur beror på skillnaden mellan skogens årliga tillväxt och den årliga avverkningen. Som framgår av statistiken från Riksskogs-taxeringen (Figur B1.3) har avgången (dvs slutavverkning, gallring samt naturlig avgång) sedan slutet av 1970-talet legat klart under den svenska skogens tillväxt, vilket som tidigare beskrivits resulterat i en ökning av skogens kolförråd.



Kolinbindningen till skogsekosystemen beror således i stor utsträckning på gapet mellan tillväxt- och avverkningshastighet. Dessa komponenter är i viss mån oberoende av varandra, även om de också beror av varandra genom tillgång och efterfrågan. Alla faktorer som bidrar till en minskad tillväxt har därför potentialen till att bidra till en minskad kolinbindning till skogsekosystemen.

Som beskrivits i huvudrapporten finns det starka bevis för att närvaron av en ozonbelastning bidrar till att minska skogens tillväxt i Sverige, jämfört med om ozonbelastningen inte fanns. Den osäkra faktorn är hur avverkningshastigheten skulle ha sett ut i ett scenario med högre tillväxt i avsaknad av ozonbelastning. I en första studie gjorde Karlsson (2012) antagandet av avverkningen främst styrs av efterfrågan och att en liten ökning i tillväxthastighet inte påverkar detta i någon betydande omfattning. En ökning av tillväxten i frånvaro av ozon (dvs en för-industriell ozonnivå) beräknades i denna studie öka kolinbindningen som ett värde för hela den svenska skogen med knappt 9 %. Denna analys grundades på statistik om tillväxt och avverkning från UNECE samt på samband mellan ozonbelastning och påverkan på tillväxten hos unga träd under experimentella förhållanden. I en annan studie (Subramanian m. fl., 2014) beräknades ozonets inverkan på tillväxten för skogen i Sverige baserat på ozonets påverkan på trädens fotosyntes och barrrens/bladens åldrande. Här gjordes istället ett antagande att det fanns ett visst samband mellan tillväxt och avverkning så att skillnaden mellan tillväxt och avverkning minskade med samma procentsats som procentsatsen för minskningen av tillväxten. Den beräknade minskningen av kolinbindningen i olika delar av den svenska skogen beroende på nuvarande ozonbelastning blev här mellan 3,7–12,5 %, med lägsta värden för norra Sverige.

Som nämnts ovan sker en viss kolupplagring även till markkolet på skogsbeklädda mineraljordar. Det är troligt att denna kolinbindning ökar med ökad tillväxt, eftersom träden vid ökad tillväxt producerar mer förna, både ovan och under jord. Så vitt vi känner till finns ingen studie som kvantitativt beräknat sambanden mellan ökad tillväxt och ökad kolupplagring i mineraljorden. Att vi inte inkluderar denna process innebär sannolikt att vi något underskattar ozonets negativa påverkan på den långsiktiga kolupplagringen i skogsekosystemen.

Olika beräkningar ger således resultat i samma storleksordning, att nuvarande ozonbelastning minskar kolinbindningen till den svenska skogen med i storleksordningen 10 %, jämfört med ett scenario med en förindustriell nivå på ozonbelastningen.

Referenser till Bilaga 1:

Karlsson, P.E. 2012. Ozone Impacts on Carbon Sequestration in Northern and Central European Forests. IVL Rapport B 2065.

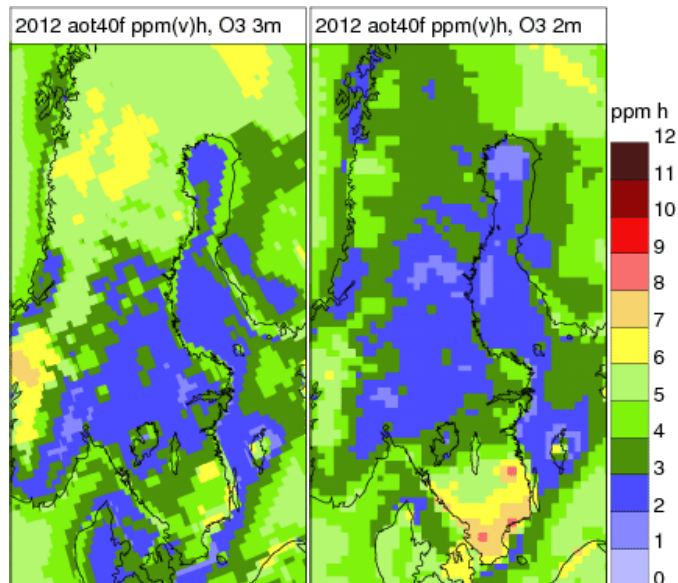
Regeringskansliet, 2014. Sveriges sjätte nationalrapport om klimatförändringar. Ds 2014:11. Ds 2014:11.

Subramanian, N, Karlsson, P.E, Bergh, J, Nilsson, U. Impact of Ozone on carbon sequestration by Swedish forests under changing climate: A modeling study. Accepterad i Forest Science, September 2014.

9 Bilaga 2. Beskrivning av en metodik där modellresultaten från MATCH-modellen kombineras med kontinuerliga ozonobservationer

Figur B2.1. AOT40 för 2012 framtaget med MATCH-modellen (vänster) och beräknat genom 2-dimensionell variationell analys där MATCH-modellerade värden kombineras med mätningar (höger). Från Andersson m.fl. 2014a.

1 ppm timma motsvarar 2 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar.



Observationerna av ozonhalter från EMEP-stationerna antas vara gjorda 2 m över markytan och förutsätts vara representativa för en hel MATCH grid-ruta (ca. 44 km \times 44 km).

För varje timme då mätstationerna har giltiga observationer skalas dessa först upp till mitten av lägsta modellnivå (ca. 30 m), baserat på lokal markanvändning och stabilitet och används sedan för att förbättra det modellerade fältet genom dataassimilation, i detta fall 2-dimensionell variationell analys.

Denna metodik bygger på en uppskattning av osäkerheten i mätningar och modell. För att erhålla en bra analys är det mycket viktigt att både mätdata och modellerade data håller en hög kvalitet. Modellens halfält, första gissningen, för motsvarande observationstimma jämförs mot de uppskalade observationerna och behandlas matematiskt genom dataassimilation, så att det nya halfältet på bästa sätt överensstämmer med mätningarna. Detta sker i kombination med givna osäkerheter för observationerna och modellfält. Här förutsätter vi att mätdata håller en mycket högre kvalitet än modelldata, varför snarare modellens fält än observationerna förändras under dataassimileringsproceduren.

Det nya, analyserade ozonfältet skalas sedan ner till 3 m över marken genom att, igen, använda en stabilitets- och markanvändningsberoende funktion som

är unik för varje gridpunkt och tidpunkt (beror av aktuellt väder och torrdepositions hastighet). Nivån 3 m är inte entydigt definierad över t. ex. skog, eftersom turbulensen och omblandningen räknas från "zero plane displacement" (dvs i höjd med trädtopparna) och torrdepositionen av ozon över en skog räknas till skogen som helhet, och inte till markytan långt under trädtopparna. Detta innebär att "3 m" skall tolkas som "3 m över växtbeståndet" i grid-rutan. Med den relativt grova modellen som vi använt här, är metodiken inte problemfri då vi t.ex. antar att en grid-ruta har en – och endast en – markanvändning och stabilitet vid varje tidpunkt. I upp- och nedskalningarna av halterna har vi också förenklat beräkningarna genom att anta att höjdskillanden mellan 3 m över växtbeståndet och mitten av lägsta modellnivån alltid är ~30 m minus 3 m. Andra komplikationer som inte heller är omhändertagna handlar om att långt ifrån alla observationer sker 2 m över markytan; om mätningarna i verkligheten sker på annan höjd kommer detta påverka det justerade, nedskalade, 3 m fältet.

I denna studie har vi utgått från 3 m ozonhalter framtagna som en del i MATCH miljöövervakning (Södergren m. fl., 2013; Andersson m.fl., 2014a). Dessa fält har sedan interpolerats till EMEP-modellens 50 km × 50 km rutor (se Figur 4) för dra fördel av data som togs fram i en tidigare studie (Karlsson m. fl., 2006a).

Avslutningsvis har de timvisa ozonhalterna korrigerats till de höjder över markytan som är relevanta för respektive växtslag. För jordbruksgrödor har ozonhalterna justerats till 1 m (grödor) respektive 0.5 m (vall) baserat på den metodik som anges i LRTAP-konventionens "Mapping Manual" (LRTAP, 2011); här antas modellresultaten vara giltiga för öppen mark och det nedräknade värdet vara just 3 m över markytan. Vad gäller skog har vi använt ozonhalterna vid 3 m utan korrektion. Detta grundar sig på resonemanget om zero plane displacement i modellen och har stöd i observationer av ozon i landskapet.

Referenser Bilaga 2

- Andersson, C., Södergren, H. och Torstensson, M. 2014a. Metodförändring och utvärdering av MATCH-Sverigesystemet. SMHI rapport nr 2014-16.
- Karlsson, P.E., Pleijel, H, Danielsson, H., Belhaj, M., Andersson, M., Hellsten, S. 2006a. En ekonomisk utvärdering av inverkan av marknära ozon på växtligheten i Sverige i relation till föreslagna miljömål. IVL Rapport B 1678.
- LRTAP 2011. Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends. UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (Available and continuously updated at www.icpmapping.org).

Södergren, H., Holmin-Fridell, S., Andersson, C. och Persson, C. 2013. Nationell miljöövervakning med MATCH-Sverigesystemet – metodik och resultat för åren 1998-2011. SMHI rapport nr 2013-35.

10 Bilaga 3. Ett exempel på sambanden mellan inverkan på slutlig biomassa och inverkan på tillväxthastighet

Det går att med ett enkelt exempel att visa att inverkan av ozon mätt som en procentuell biomassaminskning inte behöver vara det samma som en ozoneffekt på en tillväxthastighet. Detta diskuteras i detalj i Bilaga 3.

Antag ett 1-årigt exponeringsexperiment med en hög och en låg ozonbehandling. Vi använder relativa enheter för biomassa. Före experimentets start har träden samma biomassa, 1.0, i de båda behandlingarna. I den låga ozonbehandlingen fördubblar träden sin biomassa, från 1.0 till 2.0. Träden i den höga ozonbehandlingen ökar sin biomassa från 1.0 till 1.8. Träden i den höga ozonbehandlingen har vid experimentets slut en biomassa som är 90% av biomassan hos träden i den låga ozonbehandlingen. Ozoneffekten om man räknar endast biomassan vid experimentets slut blir således en minskning av biomassan på -10%/år. Tillväxthastigheten har i den låga ozonbehandlingen varit 1.0/år medan tillväxthastigheten i den höga ozonbehandlingen har varit 0.8/år. Ozoneffekten om man räknas baserat på tillväxthastighet blir således -20%/år, en dubbelt så hög procentuell effekt, jämfört med att endast räkna på den slutliga biomassan. De kan således bli en mycket stor skillnad i beräknad procentuell effekt av ozon, beroende på om man endast använder den slutliga skillnaden i biomassa mellan olika ozonbehandlingar, jämfört med om man använder ozonets procentuella inverkan på tillväxthastigheten.

11 Bilaga 4. En detaljerad beskrivning av priser och kostnader inom skogsbruket

Virkesintäkter

Bruttovärdet av virkesintäkterna för den förändrade avverkningsvolymen har beräknats utifrån dagens genomsnittspriser för leverans vid bilväg (Tabell B 3.1). För massaved tillämpas i Svealand och Norrland ett prisavdrag baserat på avstånd till industri. Ett avståndsavdrag till industrin tillämpas. Detta har dock inte medtagits i denna studie. Priserna på sågtimmer och massaved har legat relativt konstanta under den senaste tioårs-perioden räknat i löpande priser (Figur B 4.1).

Andelen av avverkat virke som idag går som timmer respektive massaved har hämtats från VMR, Virkesmättningsrådet, <http://www.virkesmatningsradet.org>. Dessa data visas i Tabell B.4.2.

Tabell B 4.1. Priser och kostnader. Priser som medelvärden för 2009-2013, kostnader från 20xx. Uppdelat på landsdelar. Priser från förra studien 2006 visas inom parentes.

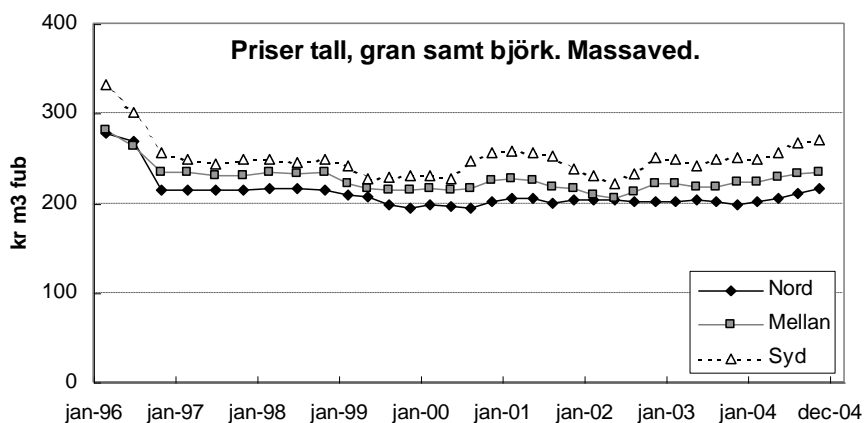
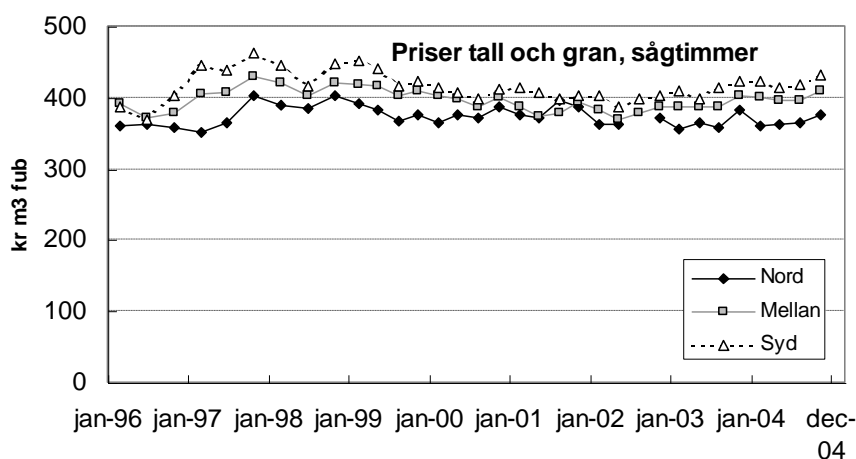
Genomsnittspriser på leveransvirke vid bilväg.	kr per m ³ ub		
	Norrland	Svealand	Götaland
Sågtimmer av gran.	428 (331)	459 (394)	523 (425)
Massaved av gran.	302 (210)	293 (238)	317 (260)
Sågtimmer av tall.	485 (397)	470 (403)	507 (409)
Massaved av tall.	287 (200)	275 (214)	312 (255)
Sågtimmer av björk. *		(403)	(409)
Massaved av björk.	294 (202)	289 (219)	331 (252)
Sågtimmer av övr löv.		(403)	(600)
Massaved av övr löv.	(202)	(219)	(252)
Drivningskostnader, gallring			
Alla trädslag och regioner	(115)	(131)	(145)
Drivningskostnader, slutavverkning			
Alla trädslag och regioner	(72)	(65)	(69)

* Prisuppgifter för sågtimmer av björk satt lika med tall.

IVL-rapport C 59 En ekonomisk utvärdering av inverkan av marknära ozon på växtligheten i Sverige

Tabell B 4.2.. Andelar av avverkat virke som går som sågtimmer respektive massaved för olika trädslag och regioner. Uppgifter gäller för åren 2000-2004. Från WMR 2005.

		Norrland	Svealand	Götaland
Gran	Sågtimmer	0.51	0.54	0.65
	Massaved	0.49	0.46	0.35
Tall	Sågtimmer	0.60	0.50	0.65
	Massaved	0.40	0.50	0.35
Björk	Sågtimmer	0.00	0.02	0.01
	Massaved	1.00	0.98	0.99
Övr. Löv	Sågtimmer	0.00	0.05	0.21
	Massaved	1.00	0.95	0.79

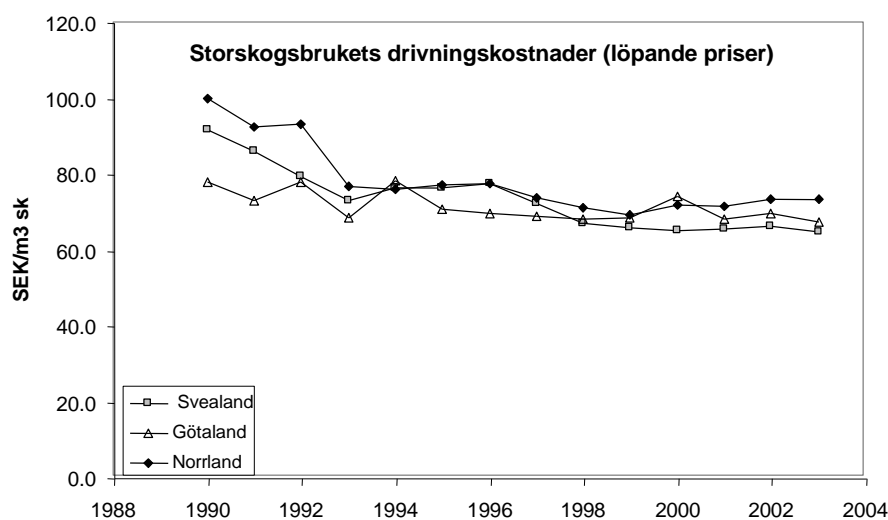


Figur B 4.1 Sågtimmer och massaved. Genomsnittspriser på leveransvirke vid bilväg.

Drivningskostnader

Uppgifter om drivningskostnader har hämtats från Skogsstyrelsens hemsida (Tabell B 4.1). Dessa uppgifter baseras på enkätuppgifter från storskogsbruket och avser avverkning på egen skogsmark. Kostnader för både gallring och slutavverkning (föryngringsavverkning) har inkluderats. Kostnader som ingår är arbetslöner, drift och underhåll av egna maskiner, ersättningar till entreprenörer samt kostnadsposter gemensamma för flera avverkningstrakter. Även drivningskostnaderna för slutavverkning har legat relativt konstant de senaste åren, räknat i löpande priser (Figur B 4.1).

Vid beräkning av total drivningskostnad för den förändrade avverkningsvolymen antas att 30% av volymen tas ut i gallring och 70% i slutavverkning.



Figur B 4.2. Storskogsbrukets drivningskostnader (löpande priser), kronor per kubikmeter fast under bark (m³ fub).

Datakällor

Virkespriser:

Skogsstyrelsen 2014. 13.03 Volymvägda genomsnittspriser på sågtimmer av gran och tall, leveransvirke, 1995-.xls.

<http://www.skogsstyrelsen.se/Myndigheten/Statistik/Amnesomraden/Priser/Tabeller--figurer/> [2014-09-12].

Skogsstyrelsen 2014. 13.04 och 13.05 Volymvägda genomsnittspriser på massaved av barr, gran och björk, leveransvirke, 1995-.xls

<http://www.skogsstyrelsen.se/Myndigheten/Statistik/Amnesomraden/Priser/Tabeller--figurer/> [2014-09-12].

Virkesanvändning:

VMU 2014. SKOGSINDUSTRINS VIRKESFÖRBRUKNING SAMT
PRODUKTION AV SKOGSPRODUKTER 2009 – 2013.
<http://sdc.se/default.asp?id=2749> [2014-09-15].

Drivningskostnader:

Skogsstyrelsen 2014. 14.04 Storskaliga skogsbrukets drivningskostnader, 1998-
.xls.

<http://www.skogsstyrelsen.se/Myndigheten/Statistik/Amnesomraden/Ekonomi/Tabeller--figurer/> [2014-09-12]

12 Bilaga 5. En detaljerad beskrivning av priser och kostnader inom jordbruket

Samtliga uppgifter om markanvändning, uppdelat i höstvetete, vårvete, råg, höstkorn, vårkorn, havre, rågvete, blandsäd, matpotatis, stärkelsepotatis, samt slätter- och betesvall har hämtats från Jordbruksverket statistikdatabas. Odlingsarealerna är i underlagen fördelade per kommun och har bearbetats till att motsvara EMEP-rutorna med hjälp av, i den föregående studiens, motsvarande uppgifter för 2004.

För varje EMEP-ruta har den odlade ytan för veteproduktion (höstvetete + vårvete), ytan för produktion av övriga spannmål (råg + höstkorn + vårkorn + havre + rågvete + blandsäd), ytan för produktion av matpotatis och potatis för stärkelseproduktion samt ytan för vallodling (slättervall + betesvall) definierats. Enhet: ha EMEP-ruta⁻¹.

Uppgifter om skördarnas storlek per hektar för respektive gröda och år hämtades från Jordbruksverkets statistikdatabas. I de fall uppgifter per län har saknats har uppgifter per produktionsområden utnyttjats. I några fall finns inga hektarskördeuppgifter varken per län eller produktionsområde. I dessa fall har medelskörd för Sverige ansatts. Enhet: kg ha⁻¹ år⁻¹.

Med hjälp av uppgifter om ingående grödors skördestorlek och yta odlad mark per gröda har skörd EMEP-ruta⁻¹ år⁻¹ beräknats. Enhet: ton EMEP-ruta⁻¹ år⁻¹.

Med hjälp av uppgifter från MATCH har värden för ozonbelastningen i varje EMEP-ruta, räknat som AOT₄₀ (1m respektive 0.5m höjd över marken), tagits fram för åren 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 och 2012.

Dos-repons samband, uttryck som relativ skörd versus AOT₄₀, för samtliga grödor har tagits fram. För vete och potatis har dos-respons samband tagit fram genom utnyttjandet av data som ligger till grund för ozonupptagsmodellen som presenteras i Mapping Manual.

Dos-respons sambandet för övriga sädesslag bygger på data från 1989 då korns ozonkänslighet undersöktes. Detta dos-respons samband har använts för samtliga i gruppen ingående grödor.

Dos-respons sambandet för vall bygger på data från ozonexponeringsförsök 1992 – 1993.

För vete och potatis har motsvarande ackumuleringsperiod som den som presenteras i Mapping Manual använts (vete=54 dagar med start dag 183, potatis=70 dagar med start dag 156). För övriga spannmål har samma ackumuleringsperiod som för vete använts och för vall är perioden 1 juni till 31 augusti.

Skörden för respektive gröda i frånvaro av ozonbelastning beräknades (ton ha⁻¹ år⁻¹), utifrån följande funktion:

$$y = h/((i*j)/m)$$

där:

y = årlig skörd (ton ha⁻¹ år⁻¹) vid frånvaro av ozonbelastning,

h = aktuell skörd (ton ha⁻¹ år⁻¹),

i =AOT40 (ppm h),

j = riktningskoefficienten för sambandet mellan AOT40 och relativ skördeförlust (där 1 = ingen skördeförlust),

m = intercept.

Skördeförlust beroende på aktuell ozonbelastning (differensen mellan skörd vid aktuell ozonbelastning och uträknad skörd vid AOT40=0) räknades ut för samtliga ingående år. Även skördeförlust vid målvärdet 5000 ppbtimmar (mätt på 3m höjd för april till september) räknades ut. Skördeförlusterna för respektive gröda och samtliga exempelår beräknades (ton ha⁻¹ år⁻¹), utifrån följande funktion:

$$y = k*(i*j+m)$$

där:

y = årlig skörd (ton ha⁻¹ år⁻¹) vid aktuell ozonbelastning,

vid målvärdet 5000 ppbtimmar, april – sept.

k = årlig skörd (ton ha⁻¹ år⁻¹) vid frånvaro av ozonbelastning,

i =AOT40 (ppb h),

j = riktningskoefficienten för sambandet mellan AOT40 och relativ skördeförlust (där 1 = ingen skördeförlust),

m = intercept.

Samtliga grödor prissattes och deras beräknade skördeförluster fördelades per användningsområde.

Det ekonomiska värdet av skördeförlust beroende på nuvarande ozonbelastning och vid målvärdet 5000 ppbtimmar beräknades enligt:

$$x = (l * m * n)$$

där x = ekonomiskt förlust (SEK ton⁻¹, år),

l = skördeförlust orsakade av ozon vid respektive ozonscenario (ton år⁻¹),

m = andel per användningsområde (%).

n = genomsnittspris (SEK).

Beräknade värden för EMEP-rutor summeras nationellt, såväl som för respektive landsdel.

Datakällor

Avräkningspriser:

Jordbruksverkets statistikdatabas

(http://statistik.sjv.se/PXWeb/Menu.aspx?px_db=Jordbruksverket%20statistikdatabas&px_language=sv&rxid=5adf4929-f548-4f27-9bc9-78e127837625)

Lantbrukarnas Riksförbund (Kjell Ivarsson, kjell.ivarsson@lrf.se).

Markanvändning:

Jordbruksverkets statistikdatabas

(http://statistik.sjv.se/PXWeb/Menu.aspx?px_db=Jordbruksverket%20statistikdatabas&px_language=sv&rxid=5adf4929-f548-4f27-9bc9-78e127837625)

Hektarskörd:

Jordbruksverkets statistikdatabas

(http://statistik.sjv.se/PXWeb/Menu.aspx?px_db=Jordbruksverket%20statistikdatabas&px_language=sv&rxid=5adf4929-f548-4f27-9bc9-78e127837625)

Jordbruksverket "Övrig statistik"

<http://www.jordbruksverket.se/omjordbruksverket/statistik/statistikomr/ovrigstatistik.4.67e843d911ff9f551db80004881.html>



IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm
Tel: 08-598 563 00 Fax: 08-598 563 90
www.ivl.se