

En ekonomisk utvärdering av  
inverkan av marknära ozon på  
växtligheten i Sverige i relation  
till föreslagna miljömål

Per Erik Karlsson Håkan Pleijel Helena Danielsson  
Mohammed Belhaj Mikael Andersson Sofie Hellsten  
B 1678  
31 Mars 2006

Rapporten godkänd:  
2006-03-31



Peringe Grennfelt  
Forskningschef

<b>Organisation</b> IVL Svenska Miljöinstitutet AB	<b>Rapportsammanfattning</b>
<b>Adress</b> Box 5302 400 14 Göteborg	<b>Projekttitel</b> En ekonomisk utvärdering av inverkan av marknära ozon på växtligheten i Sverige i relation till föreslagna miljömål
<b>Telefonnr</b> 031-725 62 00	<b>Anslagsgivare för projektet</b> Naturvårdsverket, avtal 501 0510 MISTRA programmet ASTA
<b>Rapportförfattare</b> Per Erik Karlsson, Håkan Pleijel, Helena Danielsson, Mohammed Belhaj, Mikael Andersson, Sofie Hellsten	
<b>Rapporttitel och undertitel</b> En ekonomisk utvärdering av inverkan av marknära ozon på växtligheten i Sverige i relation till föreslagna miljömål	
<b>Sammanfattning</b> De ekonomiska kostnader som kan uppstå genom inverkan av ozon nära marken på produktionen i jord- och skogsbruk i Sverige har utvärderats. Beräkningarna har utgått från fyra olika scenarier för ozonförekomst: 1. Nuvarande ozonbelastning. 2. En ozonbelastning motsvarande ett förslag till kortsiktigt målvärde inom miljömålet Frisk Luft, att ozonbelastningen inte skall överskrida AOT40 20 000 $\mu\text{g m}^{-3}$ till år 2015. 3. En ozonbelastning motsvarande ett förslag till långsiktigt målvärde inom miljömålet Frisk Luft, att ozonbelastningen inte skall överskrida AOT30 18 000 $\mu\text{g m}^{-3}$ . 4. En prognos för framtida ozonförekomst för år 2020 baserat på AOT40. Skillnaden i de årliga ekonomiska kostnaderna mellan nuvarande ozonbelastning och scenariot för år 2020, 150 MSEK, kan ses som en grov uppskattning av den ekonomiska vinst som uppstår vad gäller inverkan av ozon på växtligheten i Sverige, om det föreslagna kortsiktiga målvärdet klaras över hela landets areal.	
<b>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren</b> Ozon, Växtligheten, Ekonomisk utvärdering, Miljömål	
<b>Bibliografiska uppgifter</b> IVL Rapport B 1678	
<b>Rapporten beställs via</b> Hemsida: <a href="http://www.ivl.se">www.ivl.se</a> , e-post: <a href="mailto:publicationservice@ivl.se">publicationservice@ivl.se</a> , fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm	

## Sammanfattning

I ett projekt med gemensam finansiering från ASTA programmet (International and National Abatement Strategies for Transboundary Air Pollution), finansierat av MISTRA, och från Naturvårdsverket, har vi utvärderat de ekonomiska kostnader som kan uppstå genom inverkan av ozon nära marken på produktionen i jord- och skogsbruk i Sverige. Vi har även kvalitativt uppskattat inverkan av ozon på övrig växtlighet. Beräkningarna har utgått från fyra olika scenarier för ozonförekomst: 1. Nuvarande ozonbelastning. 2. En hypotetisk ozonbelastning, där hela Sveriges areal står under en ozonbelastning motsvarande ett förslag till kortsiktigt målvärde inom miljömålet Frisk Luft, AOT40 20 000  $\mu\text{g m}^{-3}$ . 3. En hypotetisk ozonbelastning, där hela Sveriges areal står under en ozonbelastning motsvarande ett förslag till långsiktigt målvärde inom miljömålet Frisk Luft, AOT30 18 000  $\mu\text{g m}^{-3}$ . 4. En prognos för framtida ozonförekomst för år 2020, baserat på värden för AOT40 som hämtats ifrån scenario CLE 2020 vilket tagits fram inom EU's program CAFÉ (Clean Air For Europe).

Värden för nuvarande och framtida ozonförekomst har erhållits från EMEP med en geografisk upplösning på 50 x 50 km, representativt för en tidsperiod 1990 – 2004. Dos – effekt relationer för ozonets negativa inverkan på olika trädslag och jordbruksgrödor har hämtats från svenska eller nordiska experiment. Uppgifter om markanvändning samt skoglig- och jordbruksstatistik har hämtats från SCB, Jordbruksverket, Skogsstyrelsen samt från en nationell databas utarbetad inom det MISTA finansierade programmet ASTA.

De årliga ekonomiska kostnaderna för ozonets negativa inverkan på växtligheten i Sverige vid nuvarande ozonbelastning, summerat för hela landet, beräknades till 160 MSEK för jordbruksgrödor och 340 MSEK för skog, vilket blir totalt 500 MSEK. Om ozonbelastningen över hela Sveriges areal skulle öka till den nivå som föreslagits som kortsiktigt målvärde skulle de årliga uppskattade ekonomiska kostnaderna öka till totalt ca 810 MSEK, varav 220 MSEK för grödor och 590 MSEK för skog. Motsvarande värden för det föreslagna långsiktiga målvärdet var 100 MSEK för grödor, 290 MSEK för skog och 390 MSEK totalt. Om alla beslutade åtaganden från alla länder som omfattas av EU och luftkonventionen LRTAP om begränsningar av utsläpp av ozonbildande ämnen verkställs och om bakgrundshalterna av ozon inte ökar mer än 10  $\mu\text{g m}^{-3}$ , förutsägs de totala kostnaderna för ozonets inverkan att minska till 350 MSEK fram till år 2020, varav 130 MSEK för grödor och 220 MSEK för skog.

Skillnaden i de årliga ekonomiska kostnaderna mellan nuvarande ozonbelastning och scenariot för år 2020, 150 MSEK, kan ses som en grov uppskattning av den ekonomiska nytta som uppstår vad gäller inverkan av ozon på växtligheten i Sverige, om det föreslagna kortsiktiga målvärdet klaras över hela landets areal. Det finns en betydande osäkerhet vad gäller den framtida prognosen för ozonbelastningen i olika delar av landet för år 2020, beroende på att transportererna av ozonbildande ämnen över hela norra halvklotet ökar alltmer vilket sannolikt ger upphov till ökande bakgrundshalter av ozon över hela landet.

Ovan beskrivna beräkningar har en nationalekonomisk utgångspunkt, inriktad på de summerade effekterna för alla Sveriges skogsägare och bönder. Om man istället beräknar de ekonomiska kostnaderna per hektar av en viss gröda eller ett visst trädslag finner man att för de värst drabbade skogsägarna i Götaland ligger de ekonomiska kostnaderna vid nuvarande ozonförekomst i samma nivå eller högre, jämfört med de beräknade kostnaderna vid en ozonbelastning motsvarande det kortsiktiga målvärdet. Ett införande av det kortsiktiga målvärdet skulle således begränsa de negativa effekterna för de värst drabbade markägarna i Götaland. Att minska ozonbelastningen till att inte

överskrida det föreslagna långsiktiga målvärdet skulle kraftigt reducera de beräknade årliga kostnaderna för skogs- och jordbruk, framförallt i Götaland, men även i övriga delar av landet.

Ovanstående beräkningar är behäftade med betydande osäkerheter och får ses som ungefärliga uppskattningar. Vi har dock vinnlagt oss om att inte överskatta ozonets negativa inverkan på växtligheten. Detta innebär att vi har lagt oss i underkant vad gäller våra uppskattningar av ozonets negativa inverkan på tillväxten hos träd, i jämförelse med mycket av vad som finns rapporterat i den vetenskapliga litteraturen. Vidare är ozonets negativa inverkan på växtligheten förknippade med många olika värden varav flertalet ej enkelt kan uppskattas i ekonomiska termer, såsom rekreations- och estetiska värden för skogen och det öppna landskapet, biologisk mångfald mm. Det finns således andra skäl, förutom de strikt ekonomiska, att reducera ozonbelastningen i Sverige så långt möjligt.

## Innehållsförteckning

1. Inledning.....	5
2. Syfte.....	5
3. Bakgrund.....	6
3.1. Nuvarande målvärden för marknära ozon till skydd för växtligheten i Sverige och internationellt.....	6
3.1.1. EUs direktiv.....	6
3.1.2. Miljökvalitetsnormer för utomhusluft i Sverige.....	7
3.1.3. Nationella miljömål.....	7
3.2. Föreslagna nya målvärden inom miljömålet Frisk Luft som kompletteringar av delmålet för marknära ozon vad beträffar skyddet för växtlighet.....	8
3.2.1. Föreslagna målvärden.....	8
3.2.2. Överskridande av de föreslagna målvärdena vid nuvarande ozonbelastning.....	8
3.3. Den framtida utvecklingen av ozonhalter och klimatförändringar över norra hemisfären.....	11
4. Tidigare genomförda studier.....	11
5. Utgångspunkter för en ekonomisk värdering av ozonets inverkan på växtligheten i Sverige.....	12
5.1. Generella aspekter.....	12
5.2. Geografisk och tidsmässig upplösning.....	12
5.3. Framtagande av underlag för ozonexponering.....	13
5.3.1. Skog.....	13
5.3.2. Jordbruksgrödor.....	16
5.3.3. Framtida scenarios för ozonbelastning.....	16
5.4. Framtagande av underlag för markanvändning samt övriga statistiska uppgifter för skog och jordbruksgrödor.....	17
5.4.1. Skog.....	17
5.4.2. Jordbruksgrödor.....	19
6. Dos-effekt samband för ozons inverkan på växtligheten.....	21
6.1. Skog.....	21
6.1.1. Dos-effekt samband för barrträd.....	22
6.1.2. Dos-effekt samband för lövträd.....	24
6.2. Jordbruksgrödor.....	25
6.2.1. Dos-effekt samband för vete.....	26
6.2.2. Dos-effekt samband för övriga sädesslag.....	26
6.2.3. Dos-effekt samband för potatis.....	26
6.2.4. Dos-effekt samband för vall.....	27
7. Aspekter vad gäller den ekonomiska värderingen.....	28
7.1. För skog.....	28
7.1.1. Trädbränsle.....	28
7.1.2. Långsiktig kolinbindning till skogsmarken.....	28
7.2. För jordbruksgrödor.....	29
8. Resultaten av beräkningarna.....	30
8.1. Kvantifiering av ozonets negativa inverkan på skog i Sverige.....	30
8.2. Ekonomisk bedömning av ozonets negativa inverkan på skog i Sverige.....	31
8.3. Kvantifiering av ozonets negativa inverkan på jordbruksgrödor i Sverige.....	36
8.4. Ekonomisk bedömning av ozonets negativa inverkan på jordbruksgrödor i Sverige.....	38
8.5. Sammanlagd ekonomisk bedömning av ozonets negativa inverkan på jordbruksgrödor och skog i Sverige.....	39
9. Kvalitativa bedömningar av ozonets inverkan på naturlig vegetation i Sverige.....	43
9.1. Generella aspekter.....	43
9.2. Fjällvärldens ekosystem.....	44

10. Diskussion av resultaten .....	49
10.1. Markanvändning samt skoglig- och jordbruksstatistik.....	49
10.2. Kvantitativa effektbedömningar .....	49
10.2.1. Värden för ozonexponering.....	49
10.2.2. Dos – effekt samband.....	49
10.2.3. Indirekta ozoneffekter .....	50
10.3. Icke-monetära värden .....	50
10.4. Jämförelse med tidigare beräkningar .....	50
10.5. Relationer till andra kostnader inom jord- och skogsbruk orsakade av miljö- och markanvändningsproblem .....	51
11. Sammanfattande bedömningar och rekommendationer i relation till en komplettering av de nationella delmålen för ozonets inverkan på växtligheten.....	52
11.1. Hur kan de föreslagna målvärdena för ozon och växtlighet uppnås?.....	52
11.2. Vilket synsätt skall man använda, nationellt eller småskaligt ?.....	53
11.3. Rekommendationer.....	53
12. Tack.....	53
13. Referenser.....	54
Bilagor .....	57
Bilaga 1 Utvärdering av underlaget för ozonexponering från EMEP modellen.....	57
Bilaga 2. En detaljerad beskrivning av tillväga-gångssätt för beräkningar av minskad tillväxt för skog och skördebortfall för jordbruks-grödor samt ekonomiska konsekvenser.....	63
Bilaga 3. En detaljerad beskrivning av priser och kostnader inom skogsbruket.....	67

## **1. Inledning**

Ozon är ett starkt oxiderande ämne som i luften är skadligt både för människans hälsa och för växtligheten. Ozon orsakar en för tidig dödlighet för ett betydande antal människor i Sverige såväl som övriga Europa årligen (Forsberg m fl., 2003). Vidare förorsakar ozonbelastningen ett betydande skördebortfall för svenskt jordbruk och en nedsättning av skogens tillväxt (Pleijel, 1999).

Ozon bildas i luften nära marken genom en serie komplicerade kemiska reaktioner som drivs av energin från solljuset. Utgångsämnen för ozonbildning är framför allt kväveoxider och flyktiga organiska kolväten, vilka till största delen är långväga transporterade från kontinentala Europa och Storbritannien. Lokala svenska utsläpp av kväveoxider och kolväten till luften har dock också betydelse (Langner m. fl., 2004, Klein m fl., 2004).

Arbetet med att begränsa förekomsten av ozon nära marken i Sverige utgår från olika målvärden inom EUs direktiv, inom de Svenska Miljö kvalitetsnormerna samt inom det Svenska miljömålet Frisk Luft, se vidare sektion 3.1. Inom miljömålet Frisk Luft har nyligen nya målvärden föreslagits till skydd för växtligheten, ett kortsiktigt och ett långsiktigt målvärde, se sektion 3.2.

Med gemensam finansiering från ASTA-programmet (International and National Abatement Strategies for Transboundary Air Pollution), finansierat av MISTRA, och från Naturvårdsverket har vi uppskattat de ekonomiska värdena av den negativa inverkan av marknära ozon på växtligheten i Sverige vid nuvarande och framtida ozonbelastning samt vid en ozonbelastning motsvarande de två nyligen föreslagna målvärdena inom miljömålet Frisk Luft.

## **2. Syfte**

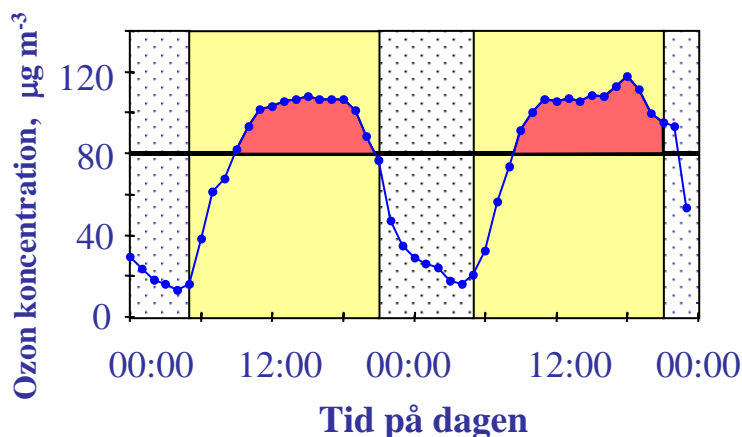
Syftet med föreliggande studie var att uppskatta de ekonomiska värdena av den negativa inverkan av marknära ozon på växtligheten i Sverige vid nuvarande ozonbelastning samt vid en ozonbelastning över Sverige motsvarande två nyligen föreslagna målvärden inom miljömålet Frisk Luft. De ekonomiska värdena beräknades även för en prognos för år 2020, vilket samtidigt kan betraktas som ett scenario för hur Sverige skulle kunna undvika överskridanden av de föreslagna kortsiktiga målvärdet i de värst utsatta områdena i landet. Uppskattningar har gjorts för tillväxten hos några viktiga trädslag samt för skördeutbytet för vissa jordbruksgrödor. Dessa effekter har värderats i aktuella monetära termer. Dessutom har vi gjort vissa kvalitativa bedömningar av ozonets möjliga inverkan på övrig växtlighet.

### 3. Bakgrund

#### 3.1. Nuvarande målvärden för marknära ozon till skydd för växtligheten i Sverige och internationellt

##### 3.1.1. EUs direktiv

Från september 2003 gäller inom EU ett direktiv om ozon i luften (2002/3/EG), vilket är ett dotterdirektiv till Takdirektivet för luftkvalitet. Man använder sig av två typer av ozonindex, ett maximalt, glidande 8-timmars medelvärde dagligen för att skydda människors hälsa och ett AOT40 dagtid till skydd av växtligheten. Metoden för att beräkna AOT40 illustreras i figur 1. Vidare anger man målvärden som skall utvärderas med start 2010, samt långsiktiga mål, som skall uppnås 2020. Målvärdena anges i tabell 1.



Figur 1. AOT40 dagtid beräknas som den ackumulerade dosen av ozon över  $80 \mu\text{g m}^{-3}$  under den relevanta tillväxtsäsongen (t ex maj - juli för jordbruksgrödor och april - september för skog). Den del som ackumuleras representeras av det röda området. Gult område representerar dygnets ljusa timmar.



Tabell 1. Målvärden och långsiktiga mål som anges i EUs direktiv (2002/3/EG) om ozon i luften.

Målvärden för 2010		Långsiktiga mål	
Hälsa	Vegetationen	Hälsa	Vegetationen
Max 8-timmars medelvärde <120 $\mu\text{g m}^{-3}$ *	AOT40, <18 000 $\mu\text{g m}^{-3}$ timme, medelvärde under 5 år **	Max 8-timmars medelvärde <120 $\mu\text{g m}^{-3}$ ***	AOT40, 6 000 $\mu\text{g m}^{-3}$ timme ** ***

\* värdet får ej överskridas under mer än 25 dagar per kalenderår, i medeltal över 3 år.

\*\* Accumulated exposure Over a Threshold 40 ppb. Beräknas utifrån timmedelvärden från maj till juli, mellan kl 8 och kl 20 mellaneuropeisk tid dagligen. Från varje timvärde subtraheras 80  $\mu\text{g m}^{-3}$ . Om resultatet är >0 så ackumuleras detta värde, annars inte. AOT40 uttrycks antingen som ppb timmar eller som  $\mu\text{g m}^{-3}$  timme. 1 ppb motsvarar 2  $\mu\text{g m}^{-3}$ .

\*\*\* värdet får ej överskridas

### 3.1.2. Miljökvalitetsnormer för utomhusluft i Sverige

Miljökvalitetsnormer för utomhusluft i Sverige definieras i förordningen SFS 2001:527 (Utfärdad: 2001-06-07, Ändring införd: t.o.m. SFS 2004:661). Dessa miljökvalitetsnormer baserar sig i huvudsak på EUs direktiv om ozon i luften, se sektion 3.1.1.

Nedan följer några olika utdrag ur miljökvalitetsnormen som är relevanta för ozons inverkan på människors hälsa och på vegetationen:

9 a ”§ Till skydd för människors hälsa och i den utsträckning som det är möjligt med hänsyn till hur ozonbildande ämnen transporteras i luften och bildar ozon, skall det eftersträvas att ozon efter den 31 december 2009 inte förekommer i utomhusluft med mer än i genomsnitt 120 mikrogram per kubikmeter luft.” Genomsnittsvärdet beräknas som ett glidande åttatimmarsmedelvärde.

9 b ”§ Till skydd för växtligheten och i den utsträckning som det är möjligt med hänsyn till hur ozonbildande ämnen transporteras i luften och bildar ozon, skall det eftersträvas att ozon inte förekommer i utomhusluft från och med den 1 januari 2010 till och med den 31 december 2019 med mer än 18 000 mikrogram beräknat enligt exponeringsindex AOT 40 och bestämt som ett genomsnittligt värde under en femårsperiod, efter den 31 december 2019 med mer än 6 000 mikrogram beräknat enligt exponeringsindex AOT 40.” AOT40 beräknas under perioden från och med den 1 maj till och med den 31 juli. Metodiken beskrivs i figur 1.

### 3.1.3. Nationella miljömål

Riksdagen har 1999 fattat beslut om femton övergripande nationella miljökvalitetsmål. Marknära ozon samt  $\text{NO}_2$  och  $\text{SO}_2$  behandlas i miljömålet ”Frisk luft”. Det beslut man fattat lyder:

”Luften skall vara så ren att människors hälsa samt djur, växter och kulturvärden inte skadas. I den av riksdagen senare antagna propositionen 2000/2001:130 ”Svenska miljömål – delmål och åtgärdsstrategier” har målformuleringen kopplad till miljökvalitetsmålet utvecklats ytterligare i form av s.k. del- och generationsmål. Delmålen avser förorenings- och utsläppsmål som skall vara uppfyllda till senast 2010. Generationsmål avser motsvarande typ av mål som delmålen, men på längre sikt, till ca 2020. De del- och generationsmål som för närvarande gäller för marknära ozon redovisas i tabell 2.

Tabell 2. Del- och generationsmål i det svenska miljömålsarbetet som fortfarande gäller för marknära ozon inom miljömålet Frisk Luft. En uppdelning har gjorts av vad som kan vara relevant för människors hälsa respektive vegetationen.

Delmål 2010		Generationsmål 2020	
Hälsa	Vegetation	Hälsa	Vegetation
Det maximala 8-timmars medelvärdet bör ej överskrida 120 $\mu\text{g m}^{-3}$	-	Halter som inte bör överskridas är 70 $\mu\text{g m}^{-3}$ som 8-timmars medelvärde och 80 $\mu\text{g m}^{-3}$ som timmedelvärde.	Halter som inte bör överskridas är 50 $\mu\text{g m}^{-3}$ som medelvärde för sommarhalvåret

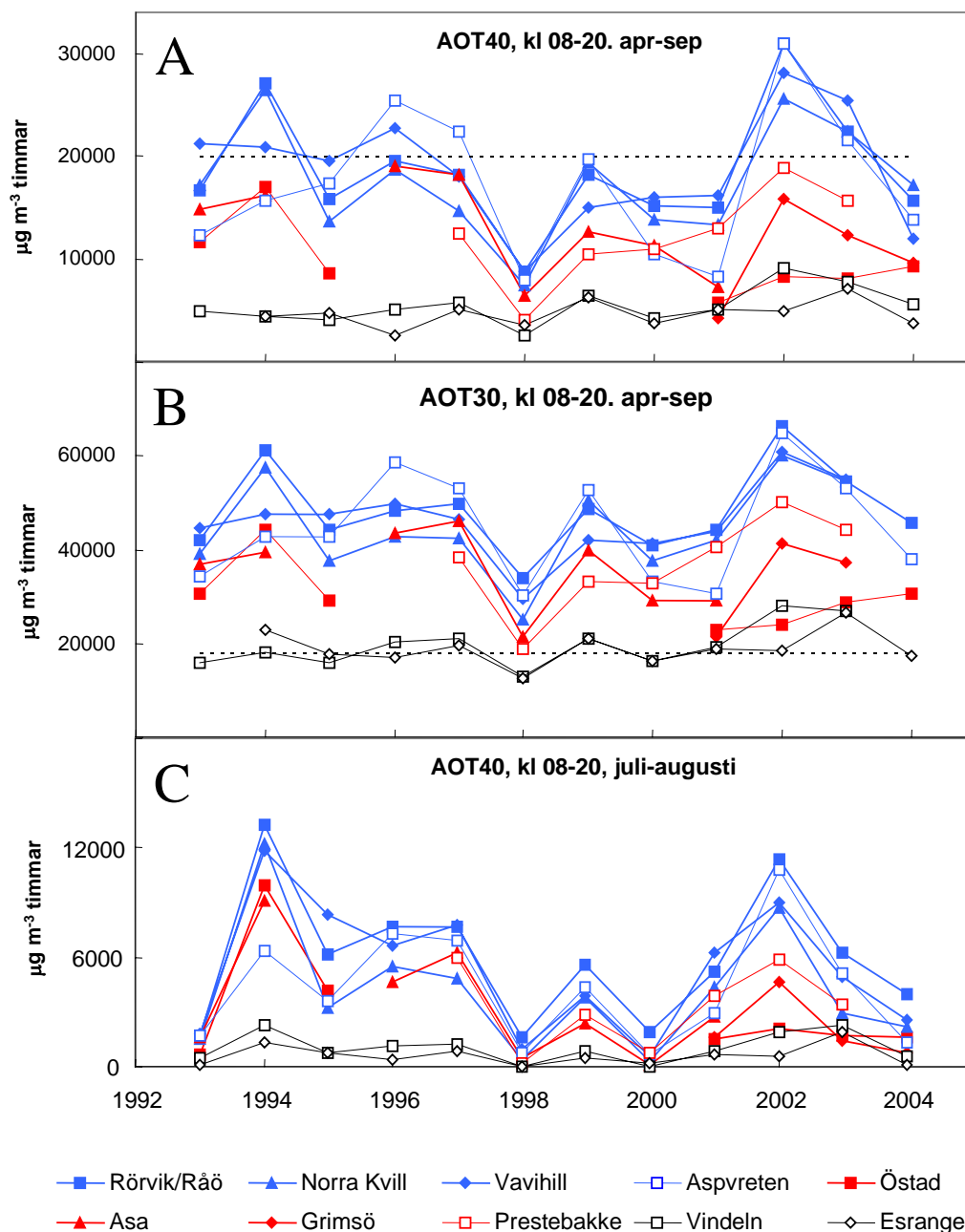
## 3.2. Föreslagna nya målvärden inom miljömålet Frisk Luft som kompletteringar av delmålet för marknära ozon vad beträffar skyddet för växtlighet

### 3.2.1. Föreslagna målvärden

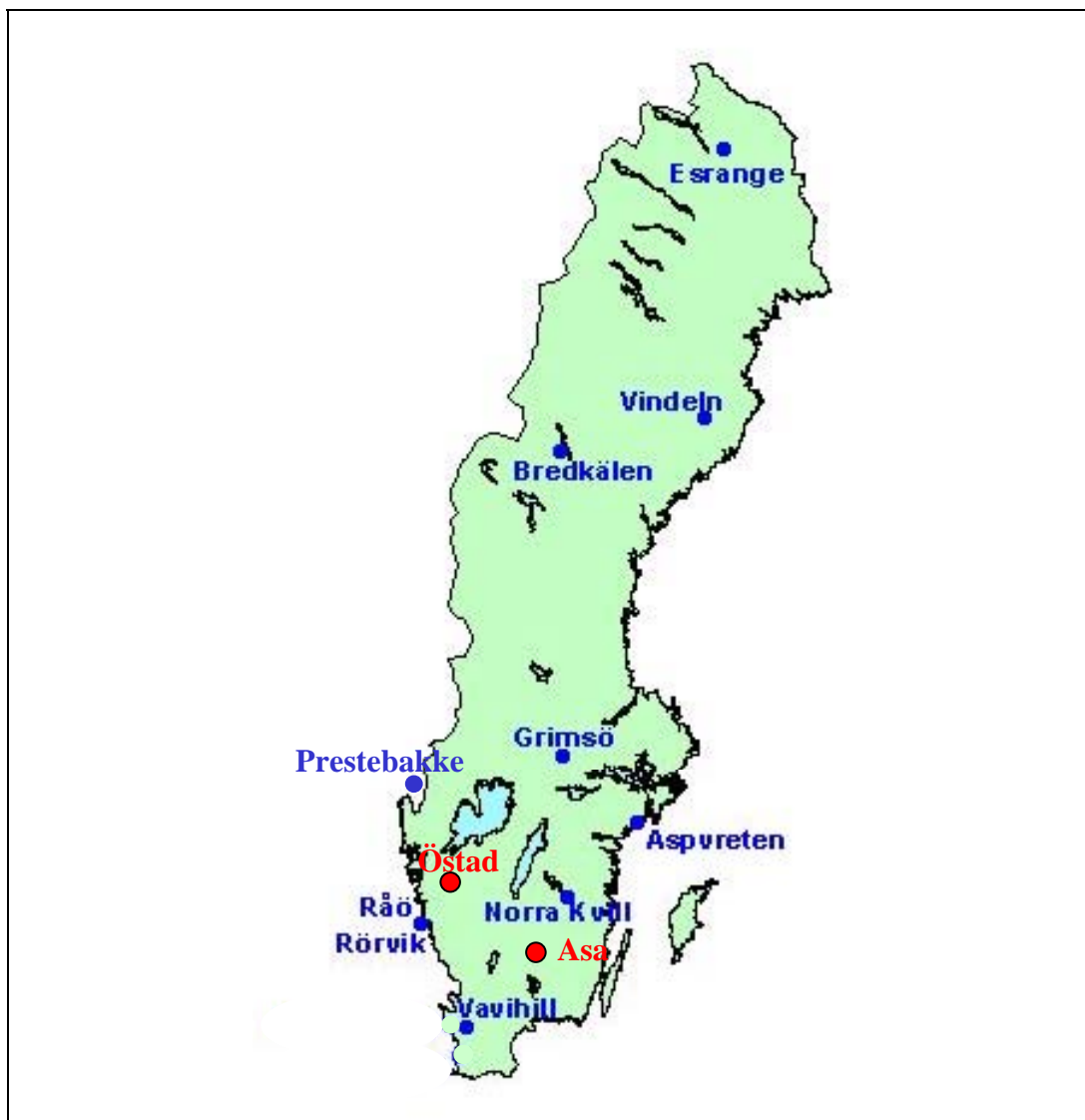
På uppdrag av Naturvårdsverket har Per Erik Karlsson, IVL Svenska Miljöinstitutet, och Håkan Pleijel, Göteborgs Universitet, (IVL Rapport U 1117) föreslagit att det inom Miljömålet Frisk Luft till skydd för växtligheten införs dels ett kortsiktigt målvärde till år 2015, dels ett långsiktigt målvärde till år 2050. Det kortsiktiga målvärdet föreslogs till 20 000 mikrogram per kubikmeter gånger timme AOT40 dagtid, beräknat årligen mellan 1 april och 30 september. Det långsiktiga målvärdet föreslogs till 18 000 mikrogram per kubikmeter gånger timme AOT30 dagtid, även det beräknat årligen mellan 1 april och 30 september. Målvärdena föreslås beräknas som medelvärden över tre år.

### 3.2.2. Överskridande av de föreslagna målvärdena vid nuvarande ozonbelastning

I figur 2 visas den uppmätta ozonbelastningen i landsbygdsmiljö vid olika platser i Sverige och en plats i Norge, där ozonmätningar sker med instrument 5 m över marknivå. Platsernas belägenhet framgår av figur 3. I figur 2A visas AOT40 dagtid, ackumulerat från 1 april till och med 30 september. Det föreslagna nya kortsiktiga målvärdet för skydd av växtligheten visas med en horisontell streckad linje. Det framgår att det föreslagna kortsiktiga målvärdet överskrids endast vissa år, framförallt vid platser som ligger antingen kustnära eller högt belägna i inlandet.



Figur 2. Ozonbelastningen vid olika platser i Sverige och syd-östra Norge (Prestebakke) under olika år sedan 1993, uppmätt med instrument 5 m över marknivå. A. AOT40 dagtid (kl 08 – 20) för perioden 1 april – 30 september. Det föreslagna kortsiktiga målvärdet är markerat med en horisontell streckad linje. B. AOT30 dagtid för perioden 1 april – 30 september. Det föreslagna långsiktiga målvärdet är markerat med en horisontell streckad linje. C. AOT40 dagtid för perioden 1 juli – 31 augusti. Denna period motsvarar approximativt den period över vilken effekterna på vete beräknas, se avsnitt 6.2. Mätlokalernas positioner visas i figur 3. Blå symboler representerar mätlokaler som ligger antingen nära kusten eller som ligger beläget topografiskt högt, relativt det närbelägna landskapet. Denna typ av lokaler har i en tidigare studie (Karlsson m fl., 2004) visat sig ha en relativt hög ozonförekomst. Röda symboler representerar lokaler i inlandet som ligger topografiskt lågt relativt det omgivande landskapet. Dessa lokaler har en betydligt lägre ozonförekomst.



Figur 3. Karta över ozonmätstationer i landsbygdsmiljö i Sverige, samt en i Norge, belägen så nära gränsen att den kan användas för att bedöma ozonsituationen även i västra Sverige. Inom Sverige indikerar blå cirkclar mätstationer inom EMEP-systemet, medan röda cirkclar indikerar mätstationer som drivs av IVL (Östad) respektive SLU (Asa).

I figur 2B visas AOT30 dagtid, även det ackumulerat från 1 april till och med 30 september och det föreslagna nya långsiktiga målvärdet för skydd av växtligheten visas med en horisontell streckad linje. Det föreslagna långsiktiga målvärdet överskrids vid alla platser och under alla år, förutom vissa år vid Vindelns och Esrange.

I figur 2C visas AOT40 dagtid, ackumulerat för perioden 1 juli – 31 augusti. Denna period motsvarar approximativt den period över vilken effekterna på vete beräknas, se avsnitt 6.2 nedan. Denna figur illustrerar hur ozonförekomsten varierar under olika delar av sommarhalvåret under olika år, framför allt beroende på skillnader i vädret. Vissa år, såsom 1994 och 2002, sammanfaller en hög ackumulerad ozonbelastning under april – september med en hög ozonbelastning under månaderna juli-augusti, medan under andra år, såsom 1996 och 2003 var ozonbelastningen under juli-augusti relativt låg, även om belastningen under perioden april-september var hög. Detta är

orsaken till att de beräknade effekterna för skördeutbytet för vete blir olika för olika år, även om ozonbelastningen ackumulerat för perioden april-september var lika.

### 3.3. Den framtida utvecklingen av ozonhalter och klimatförändringar över norra hemisfären

Förutsägelser gällande den framtida utvecklingen av ozonhalter över norra halvklotet indikerar att de korta episoderna med mycket höga halter av ozon kommer att fortsätta att minska medan bakgrundshalterna kommer att öka markant (Prather m. fl., 2003). Mätningar har bekräftat att antalet episoder har minskat i de Nordiska länderna (Solberg m. fl., 2005). En analys av ozonmätningar med instrument ifrån Esrange, nära Kiruna, bekräftar att de ozonindex som är mest påverkade av förändringar i bakgrundshalterna har ökat sedan 1993 (figur 24, Matyssek m fl, 2006). Nyligen har en analys av ozonhalterna vid Vavihill, Rörvik, Norra Kivill samt Aspvreten visat att ozonhalterna som medelvärden ökat sedan 1990 även på dessa lokaler (Tang m. fl., Geovetarcentrum, Göteborgs Universitet, opublicerat). Dessa förändringar i ozonförekomsten kan få en stor betydelse för hur ozon kommer att påverka vegetationen i Sverige i framtiden.

De globala klimatförändringarna kommer att medföra att vegetationssäsongerna blir längre i Sverige. Förhöjda bakgrundshalter av ozon i kombination med en förlängd växtsäsong ökar den potentiella risken för negativa ozoneffekter på vegetationen i norra Sverige. Vidare är den förhållandevis låga temperaturen som råder i norra Sverige begränsande för mängden ozon som tas upp till bladen. Framtida förhöjda temperaturer kommer att öka mängden ozon som tas upp till bladen vid en viss koncentration i luften. För ytterligare diskussion av betydelsen hos dessa förändringar för ozonbelastningen i norra Sverige, se vidare sektion 9.2.

## 4. Tidigare genomförda studier

Studier av de ekonomiska konsekvenserna av negativa effekter av luftföroreningar har börjat relativt sent, i synnerhet vad gäller inverkan av ozon på växtligheten. Innes & Price (1999) har gjort en principiell genomgång av metodiken för att bestämma värden av ozonets negativa inverkan på skog, där man bl a hävdar vikten av att inkludera värden utöver de för skoglig produktion. Holland m.fl. (2006) har försökt analysera inverkan av marknära ozon på jordbruksgrödor i Europa, baserat på olika scenarios för utsläpp av utgångsämnen för ozonbildning. De har beräknat att utsläppen av ozonbildande ämnen för år 2000 orsakade skördeförstörningar på totalt 6.7 miljarder Euro årligen. Detta beräknas ha minskat till 4.5 miljarder Euro för år 2020 baserat på nuvarande beslutade åtgärder för att minska utsläppen av ozonbildande ämnen. Under scenariot "Maximum Technically Feasible Reduction" minskar detta ytterligare till 1.6 miljarder Euro årligen. Osäkerheterna i dessa värden beräknades till -33% - +50%. De jordbruksgrödor som bidrog till de största ekonomiska förlusterna var vete, grönsaker, tomater och potatis. Inverkan av ozon på vallodlingen inkluderades ej i denna studie.

Vad gäller svenska förhållanden, gjordes i en tidig studie av Hasund m fl. (1990) beräkningar av det ekonomiska värdet av ozonets inverkan på jordbruksgrödor i Sverige. Man använde i denna studie dos – effekt relationer främst från experimentella studier i USA. Man beräknade att totalskörden av spannmål reducerades genom förekomsten av ozon med 300 000 ton årligen. Skördeförstörningarna värderades till 1400 MSEK årligen i 1988-års priser. En stor del av förlusterna antogs inträffa för vallodling.

I en nyligen publicerad studie (Karlsson m.fl., 2005) beräknades de ekonomiska kostnaderna för ozonets negativa inverkan på skog och jordbruksgrödor för egendomen Östads Säteri, belägen ca 45 km nordost om Göteborg. Ozonbelastningen vid denna lokal är representativ för Götalands inland (Karlsson m.fl., 2004). Ozonets negativa inverkan på den skogliga produktionen vid Östads Säteri beräknades över en hundraårsperiod med hjälp av en skoglig framskrivningsmodell, The Forest Time Machine (Andersson m.fl., 2005). Minskningen av det ekonomiska utbytet ifrån skogsproduktionen vid Östads Säteri på grund av exponeringen för ozon beräknades till 2.6 %. Med en enkel uppskalning utifrån detta värde beräknades att Sveriges årliga ekonomiska förlust på grund av skogens exponering för ozon skulle ligga i storleksordningen 500 MSEK vid en genomsnittliga ozonexponering av skogen av 14 600 mikrogram per kubikmeter gånger timme AOT40 dagtid, 1 april – 30 september. Kostnaderna för ozonets inverkan på skogsproduktionen på nationell nivå vid det föreslagna kortsiktiga målvärdet 20 000 mikrogram per kubikmeter gånger timme skulle därför enligt dessa beräkningar kunna bli i storleksordningen 700 MSEK årligen.

Nuvarande ozonförekomst i södra Sverige uppskattades i studien Karlsson m. fl. (2005) ge ett skördebortfall för vete i storleksordningen 6 - 10%, enligt det AOT40-baserade dos-respons samband som används för Europa. För norra Sveriges jordbruksområden uppskattades ett skördebortfall på 3 - 6%. Skördebortfallet för potatis uppskattades till samma storleksordning som den för vete. Det årliga marknadsvärdet av skördebortfallen av vete och potatis bedömdes till 200 MSEK för vete och 60 MSEK för potatis. Till detta kom effekterna på övriga sädeslag och vall. Sammantaget beräknades skördebortfallet till följd av marknära ozon, baserat på AOT40 dagtid april - september 20 000 mikrogram per kubikmeter gånger timme, i svenskt jordbruk till över 400 MSEK per år under perioden 1993 - 2003.

## **5. Utgångspunkter för en ekonomisk värdering av ozonets inverkan på växtligheten i Sverige**

### **5.1. Generella aspekter**

Kvantitativa bedömningar av ozons negativa inverkan på växtligheten involverar stora osäkerheter, i synnerhet vad gäller skog och naturlig vegetation. Ozons inverkan på jordbruksgrödor är dock mer välgrundad, eftersom det finns ett omfattande experimentellt dataunderlag och översättningsproblematiken till fältmässiga förhållanden är relativt liten. Eftersom naturlig vegetation och i synnerhet 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. Vi är därför hänvisade till att göra kvalitativa bedömningar.

### **5.2. Geografisk och tidsmässig upplösning**

Det finns studier som tyder på att växtlighetens exponering för ozon varierar avsevärt på relativt korta geografiska avstånd (Karlsson m.fl., 2004, Sundberg m.fl., 2006). De faktorer som spelar störst roll är avståndet till kuster och större vatten, där kustnära platser ofta står under högre exponering för ozon jämfört med platser i inlandet. Vidare spelar den lokala topografin stor roll där en plats belägen högt i landskapet vanligtvis står under en högre ozonexponering. Slutligen finns en nord-sydlig gradient, där ozonexponeringen avtar ju längre norrut i landet man kommer.

Föreliggande studie avser att beräkna inverkan av ozon på växtligheten heltäckande för hela landet. Förekomsten av ozon övervakas med timupplösning vid relativt få platser över Sverige (figur 3). Det är därför inte möjligt att använda dessa data för att interpolera yttäckande över hela landet. Vi har i denna studie därför varit hänvisade till att använda modellerade värden för ozonexponering.

Ozonkoncentrationens mellanårsvariation är mycket stor (figur 2) främst beroende på stor meteorologisk variation mellan åren. På grund av denna variation har vi strävat efter att använda ozonexponeringsdata som representerar så lång period som vi ansett möjligt, vilket var 1990 – 2004.

Den möjlighet som står till buds vad gäller att uppfylla ovanstående krav på kvantitativa uppgifter om ozonexponeringen av växtligheten, yttäckande över hela landet och för långa tidsperioder, är att utnyttja modellerade värden från EMEP modellen ([www.emep.int](http://www.emep.int)). EMEP-modellen är det verktyg som används inom LRTAP konventionen för att yttäckande beräkna ozonförekomsten i Europa i nutid, dåtid och framtid. EMEP modellen använder rutor med en geografisk upplösning på 50 x 50 km (figur 4).

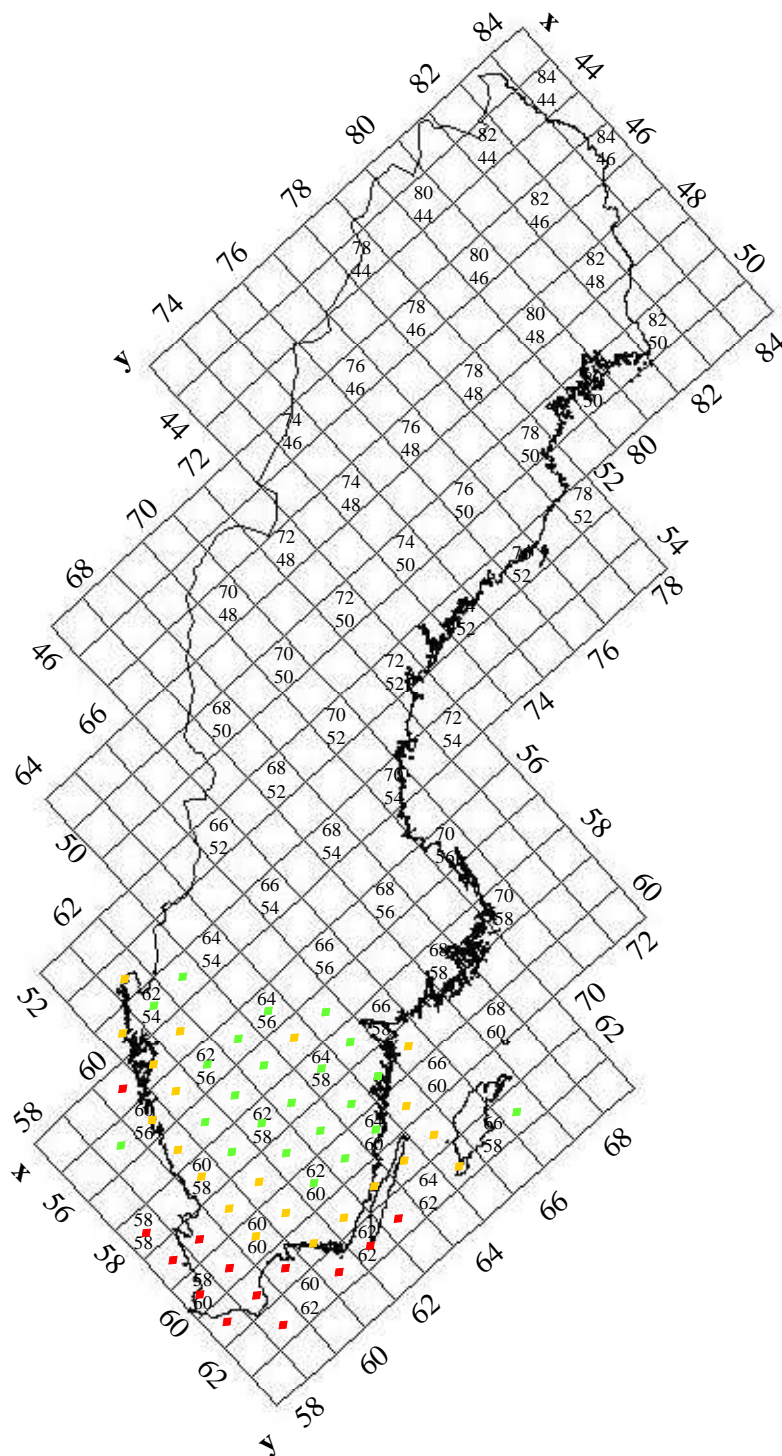
Beräknade värden för ozon har erhållits från David Simpson vid EMEP MSC-W. Vi har dels erhållit ozonhalter på 1 m över marknivå med timupplösning relevant för jordbruksgrödor. Vidare har vi erhållit årliga värden för AOT40 relevant för skog, 20 m över marknivå.

## 5.3. Framtagande av underlag för ozonexponering

### 5.3.1. Skog

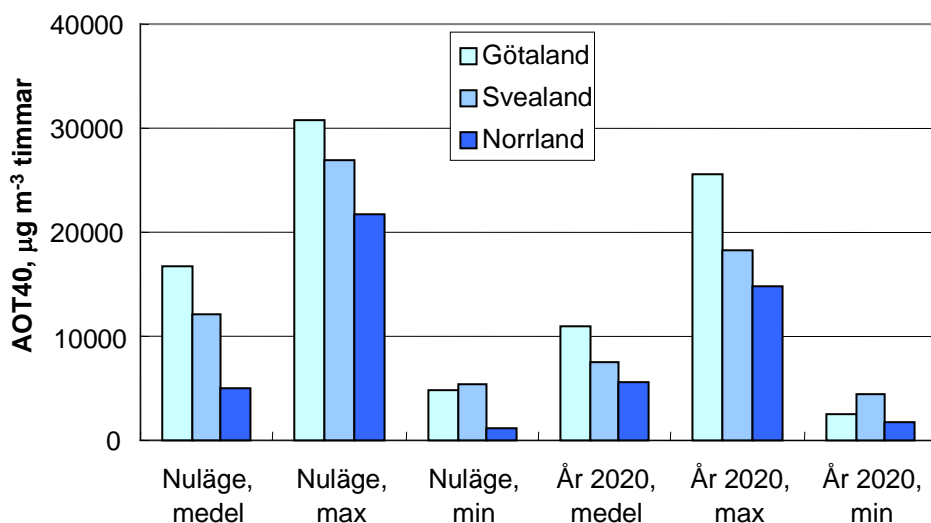
Information om AOT40 och AOT30 för skog i svenska EMEP rutor fanns vid tillfället för denna studie tillgängligt för åren 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001 samt 2002. Data för dessa år medelvärdesbildades separat för varje EMEP ruta. Ett prognostiserat värde för året 2020 för varje EMEP ruta erhöles även från EMEP.

Modellerade värden för AOT30 och AOT40 har jämförts med motsvarande värden beräknat från mätningar med ozoninstrument för de EMEP rutor där mätlokaler befinner sig. EMEP modellen förutsäger AOT40 för skog på ett relativt bra sätt över större delen av landet. Vad gäller lokaler som ligger antingen kustnära eller lokal-topografiskt högt i landskapet förmår EMEP modellen inte att simulera variationen i ozonförekomst mellan olika år. I synnerhet förmår inte EMEP modellen att simulera den höga ozonförekomsten 2002. Däremot blir den modellerade ozonförekomsten i medeltal över perioden i samma storleksordning som uppmätta värden. För lokaler som ligger lokal-topografiskt lågt belägna i inlandet är variationen i skillnaden mellan modellerade och uppmätta värden stor. Det finns dock ingen klar tendens till att EMEP modellen över- eller underskattar ozonförekomsten.

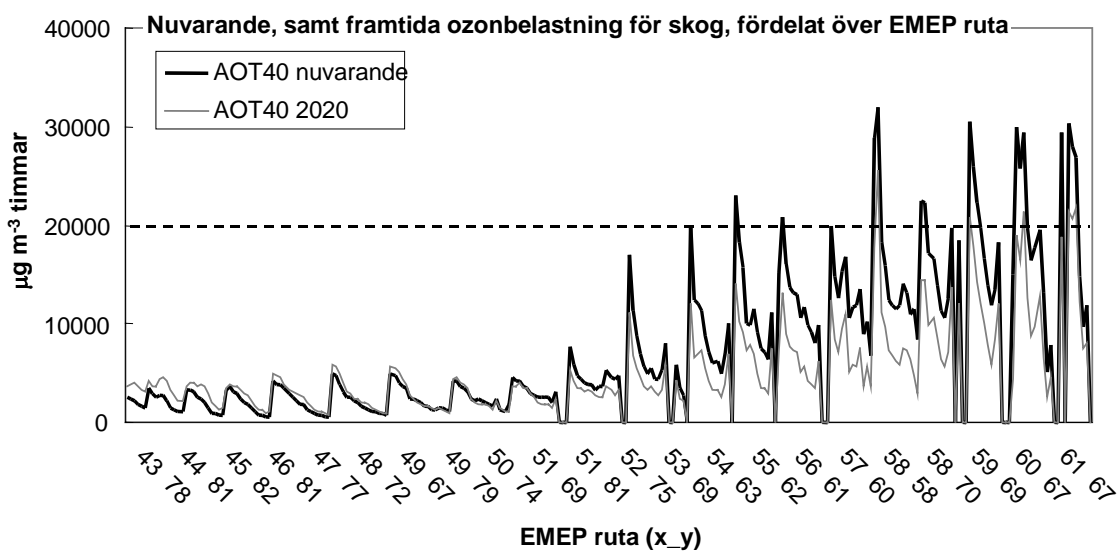


Figur 4. En karta över de EMEP-rutor som är aktuella för Sveriges landareal. För Götaland anges med en färgmarkering den beräknade, genomsnittliga, nuvarande ozonbelastningen uttryckt som AOT40 under april – september, där rött > 20000 ug m<sup>-3</sup> timmar, gult 15000 – 20000 ug m<sup>-3</sup> timmar, grönt 10000 – 14999 ug m<sup>-3</sup> timmar, ingen färg < 10000 ug m<sup>-3</sup> timmar.





Figur 5. Ozonbelastningen för skog (20 m över marknivå) som används i denna studie för att representera nuvarande förhållande samt ett scenario för år 2020, beräknade som AOT40 under perioden 1 april – 30 september. Värden är modellerade med EMEP modellen för åren 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001 samt 2002, och redovisas här som medelvärde över alla år och som medel, max och minvärden för olika landsdelar. De modellerade värdena är för båda scenarierna multiplicerade med en faktor 2 för Norrland och med en faktor 1.5 för Svealand. Det föreslagna kortsiktiga målvärdet för ozonexponering inom miljömålet Frisk Luft är AOT40 20000 µg m<sup>-3</sup> timmar.



Figur 6. Ozonbelastningen för skog (20 m över marknivå) som används i innevarande studie för att representera nuvarande förhållande samt ett scenario 2020, beräknade som AOT40 under perioden 1 april – 30 september. Värden är modellerade för varje EMEP ruta med EMEP modellen för åren 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001 samt 2002, och redovisas här som medelvärde över alla år individuellt för varje EMEP ruta. EMEP rutornas beteckning framgår av figur 4. I stort går EMEP rutorna från vänster till höger i figuren från norra till södra Sverige. De modellerade värdena är för båda scenarierna multiplicerade med en faktor 2 för Norrland och med en faktor 1.5 för Svealand. Det föreslagna kortsiktiga målvärdet för ozonexponering inom miljömålet Frisk Luft är AOT40 20000 µg m<sup>-3</sup> timmar, vilket indikeras med en horisontell streckad linje.

EMEP modellen underskattar ozonförekomsten i norra Sverige i betydande grad, trots att modellerade data sträcker sig över perioden april - september, medan uppmätta värden är beräknade över perioden maj - september. Sistnämnda period är mer realistiskt i förhållande till växtperioden i Norrland. EMEP modellens underskattning av ozonförekomsten visar sig tydligt för Vindeln och Esrange, men även så långt söderut som Grimsö. För att i viss mån uppnå mer realistiska värden för AOT40 för Norrland har de värden som erhållits från EMEP modellen i denna studie multiplicerats med en faktor 2. Detta gällde även de prognostiserade AOT40 värdena för 2020. Värdena för Svealand har multiplicerats med en faktor 1.5.

En detaljerad utvärdering av EMEP modellens förutsägelser av AOT40 för skog i olika delar av Sverige återfinns i Bilaga 1.

Den med EMEP modellen beräknade ozonbelastningen för skog vid nuvarande ozonförekomst samt vid ett scenario 2020 visas i figur 5, som medelvärden för Götaland, Svealand och Norrland. I figur 6 visas ozonbelastningen för skog för varje EMEP ruta. Beteckningen för olika EMEP rutor framgår av figur 4. Som framgår av figur 6 överskrider det kortsiktiga målvärdet för ozon endast för vissa EMEP rutor i Götaland. För flertalet EMEP rutor överskrider det inte som medelvärde över de sju åren.

### 5.3.2. Jordbruksgrödor

Information angående ozonkoncentration och ljusintensitet för samtliga svenska EMEP-rutor för åren 1990, 1997, 1999, 2000 samt 2004 har i föreliggande studie använts för att beräkna AOT40 och AOT30 för jordbruksgrödor. Samtliga ozon- och klimatdata härrör från EMEP-modellen.

AOT40-värden uträknade med uppmätta koncentrationer vid EMEP-stationerna Vavihill, Norra Kvill, Aspveten, Rörvik/Råö, Grimsö, Vindeln och Esrange som grund har jämförts med AOT40-värden baserade på EMEP-modellens data för de aktuella EMEP-rutorna. Vid denna jämförelse noterades att EMEP-modellen generellt tycks undervärdera AOT40 -värdena, framför allt i de norra delarna av Sverige men även till viss del för de mellersta delarna av landet. För en detaljerad redovisning av denna utvärdering, se Bilaga.1.

För att beräkningarna av grödors skördebortfall som presenteras i föreliggande rapport skall nå mer realistisk storleksordning har AOT40-värdena i EMEP-rutor belägna i Norrland multiplicerats med en faktor 4. Motsvarande värden i Svealand har multiplicerats med en faktor 1.5. AOT40 för sydsvenska EMEP-rutor bedöms ligga väl i paritet med uppmätta värden och har således inte korrigerats.

### 5.3.3. Framtida scenarios för ozonbelastning

Beräknade värden för AOT40 för år 2020 relevant för jordbruksgrödor och skog har erhållits från David Simpson vid EMEP MSC-W. Scenarier för emissioner av ozonbildande ämnen har hämtats ifrån EUs CAFE program, CLE scenarion (Current Legislation Emissions), med ett tillägg vad gäller förhöjda bakgrundshalter av ozon över norra hemisfären. Det sistnämnda innebär att emissionerna av metan har tillåtits öka i enlighet med nuvarande trender, samt att EMEP modellens "boundary conditions" har ökat med  $10 \mu\text{g m}^{-3}$  (Simpson m. fl., 2006).

Det måste betonas att detta scenario gäller under förutsättning att alla länder i Europa följer och uppnår de begränsningar av utsläpp av ozonbildande ämnen som för närvarande finns beslutade. Å

andra sidan finns även förväntningar om att emissionerna av ozonbildande ämnen kommer att reduceras ytterligare.

## 5.4. Framtagande av underlag för markanvändning samt övriga statistiska uppgifter för skog och jordbruksgrödor

Underlaget för markanvändning som använts i denna studie för skog grundar sig på en databas ("ASTA-databasen") som tagits fram inom det MISTRA finansierade programmet "Abatement Strategies for Transboundary Air pollution, ASTA). Denna databas grundar sig i sin tur på den markanvändningsdatabas som togs fram inom det MISTRA finansierade programmet RESE (Mahlander et al., 2004). Databasen konstruerades från satellit data med en ursprunglig rumslig upplösning på 180 m. De satellitdata som användes kom i huvudsak från året 1999 samt till viss del från 2000. Dessa data aggregerades till en upplösning på 5 x 5 km. I ASTA databasen finns en hänvisning till vilken EMEP ruta som varje ruta tillhör och detta har använts för att aggregera ASTA databasens rutor till EMEP rutor på 50 x 50 km.

Underlaget för markanvändning som använts i denna studie för jordbruksgrödor har hämtats från SCB och Jordbruksverket.

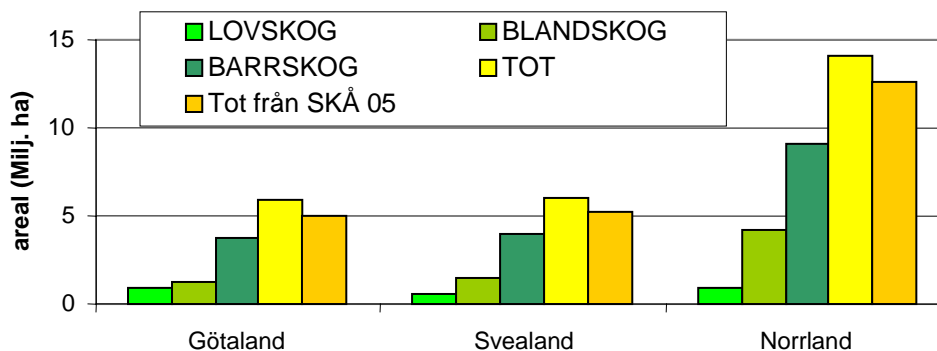
### 5.4.1. Skog

Uppgifter om markanvändning, uppdelat i barrskog, lövskog samt blandskog hämtades ifrån ASTA databasen och summerades per EMEP ruta. Vidare hämtades uppgifter ur ASTA databasen om trädslagsandel, uppdelat i gran i barrskog, tall i barrskog, björk i lövskog, övrigt löv i lövskog, andel barr i blandskog samt andel löv i lövskog. Dessa uppgifter medelvärdesbildades för varje EMEP ruta. Ur detta kunde de skogliga arealerna med respektive trädslag beräknas för varje EMEP ruta.

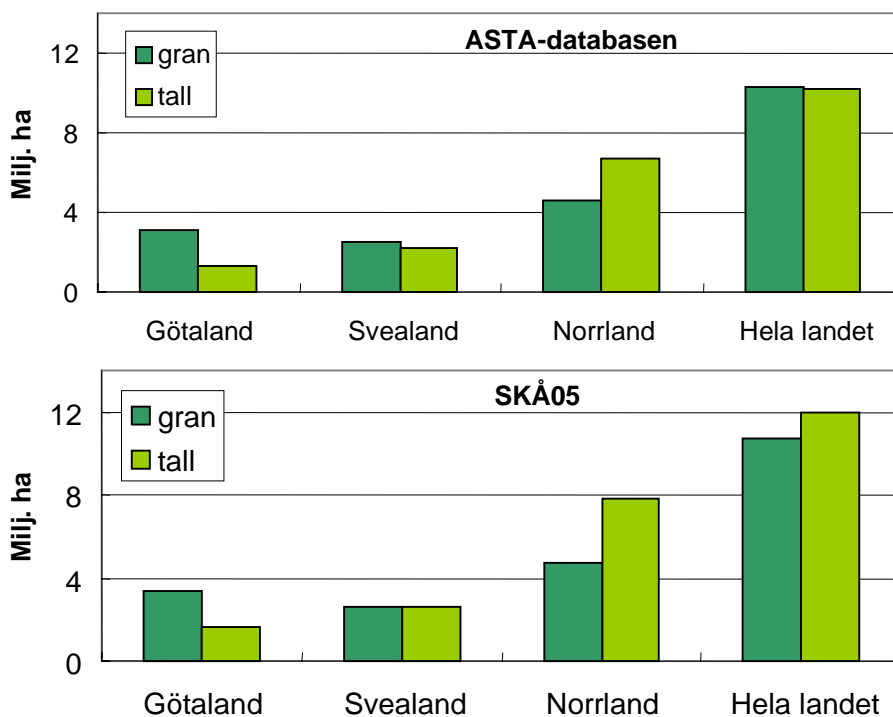
Resultaten ifrån dessa beräkningar jämfördes med uppgifter hämtade ifrån Skogsstatistisk Årsbok 2005 (SKÅ05, <http://www.svo.se/>). Jämförelser gjordes för landsdelarna Götaland, Svealand och Norrland samt för hela landet. Målsättningen var att summerade värden i ASTA-databasen för hela riket skulle överensstämma med de värden som anges i SKÅ05. Därför justerades värdena i ASTA-databasen något.

I figur 7 visas den summerade arealen för tre olika skogliga markanvändningsklasser från ASTA-databasen, för olika landsdelar. Det summerade värdet för de tre olika skogliga markanvändningsklasser, blir 26.0 milj. ha, vilket är 14% högre än det värde som anges i Skogsstatistisk Årsbok från 2005, 22.7 milj. ha. I figur 8 visas jämförelsen av de beräknade arealerna för gran- och tallskog med motsvarande värden från SKÅ05. Arealen med tallskog underskattas något i ASTA-databasen medan överensstämmelsen för granskog är relativt god.

Uppgifter om tillväxt, uppdelat i barr- och lövskog, hämtades 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. För en detaljerad beskrivning av beräkningarna, se bilaga 2.



Figur 7. Summering av de olika skogliga arealer som användes i studien, för Götaland, Svealand och Norrland. Kategorierna "LÖVSKOG", "BLANDSKOG", "BARRSKOG" samt "TOT" härrör ifrån ASTA-databasen. "TOT" anger en summering av "LÖVSKOG", "BLANDSKOG", "BARRSKOG". Kategorin "Tot från SKÅ 05" anger värdet för den totala arealen skog i landet som anges i Skogsstatistisk Årsbok från 2005.

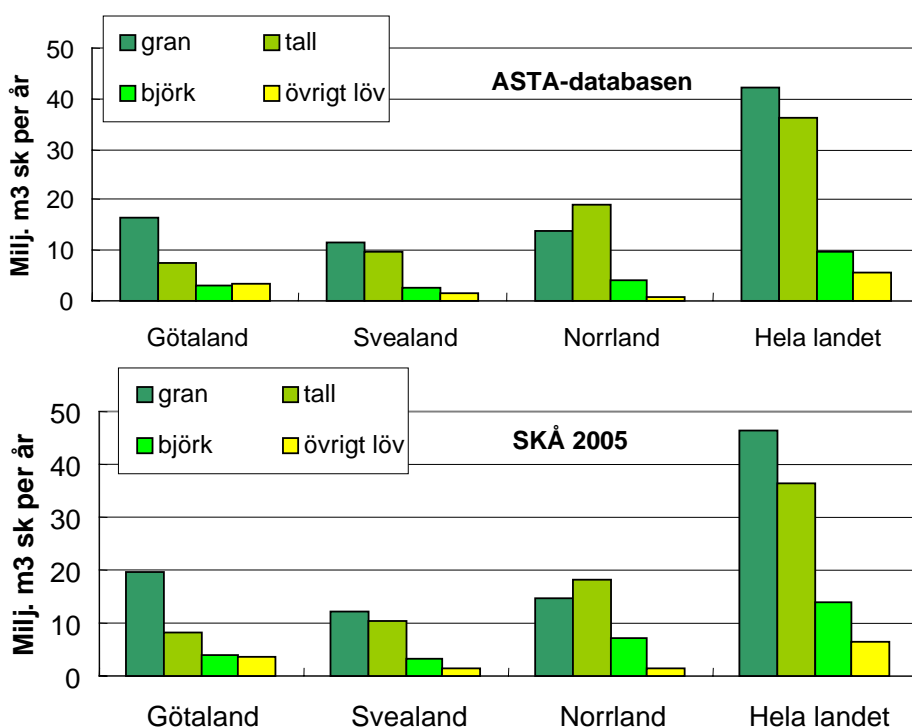


Figur 8. En jämförelse av de skogliga arealerna be vuxna med gran respektive tall som har beräknats ur ASTA-databasen (översta figuren) med den som anges i Skogsstatistisk Årsbok från 2005 (understa figuren).

Uppgifter om tillväxt, uppdelat i barr- och lövskog, hämtades 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. För en detaljerad beskrivning av beräkningarna, se bilaga 2.

Dessa beräknade värden för tillväxt grundar sig på mätningar som gjordes under 90-talet, med den ozonbelastning som då rådde. Därför antas dessa beräkningar representera tillväxten under nuvarande ozonbelastning. I figur 9 visas värden för tillväxten hos olika trädslag, beräknade ur ASTA-databasen, tillsammans med motsvarande värden från SKÅ05. De beräknade värdena för tillväxten överensstämmer relativt väl med motsvarande värden från SKÅ05. Tillväxten för gran nationellt är något underskattad i beräkningarna och det mesta av denna effekt ligger i Götaland. Vidare är tillväxten för björk något underskattad nationellt och framför allt för Norrland.

Vi gör bedömningen att i relation till övriga osäkerheter i studien, vad gäller uppskattningar av ozonets inverkan på tillväxten mm, har tillväxten hos olika trädslag i olika delar av landet beräknats med tillräcklig precision.



Figur 9. Summering av beräknad, nuvarande tillväxt med avseende på olika trädslag, för Götaland, Svealand och Norrland, som används i studien.

#### 5.4.2. Jordbruksgrödor

Samtliga uppgifter om odlingsarealer och skördarnas storlek för de i studien ingående åren har hämtats från Statistiska Centralbyråns statistikdatabas och från information från Jordbruksverket och bearbetats för att motsvara EMEP-rutorna.

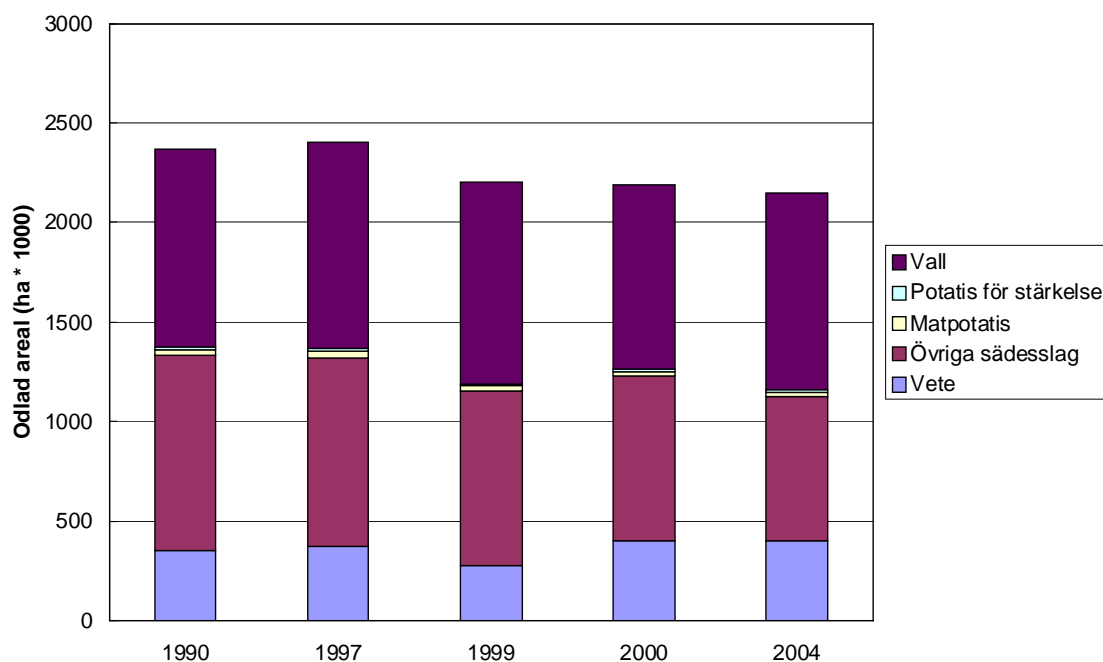
I figur 10 redovisas den svenska odlingsarealen för i studien ingående grödor för åren 1990, 1997, 1999, 2000 och 2004. Fördelningen av grödornas odlingsareal med avseende på landsdel presenteras i tabell 3.

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

	Vete	Övriga sädesslag	Matpotatis	Potatis för stärkelse	Vall
Götaland	75%	63%	76%	98%	57%
Svealand	25%	30%	13%	1%	24%
Norrland	0%	7%	11%	0%	19%

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 knapp 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. 2.2 och 2.4 miljoner hektar.



Figur 10. Areal för odling av vete, övriga sädesslag, matpotatis, potatis för stärkelse samt vall för åren 1990, 1997, 1999, 2000 samt 2004.

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 4 kan man utläsa att medelavkastningen i ton ha<sup>-1</sup> av samtliga grödor exklusive vall tycks ha minskat något från 1990 till 2004.

Tabell 4. Min-, medel- och maxavkastning för vete, övriga sädeslag, matpotatis, potatis för stärkelse samt för vall för samtliga i studien ingående år.

Avkastning, ton ha <sup>-1</sup>	Vete			Övriga sädeslag			Matpotatis			Potatis för stärkelse			Vall		
	Min	Medel	Max	Min	Medel	Max	Min	Medel	Max	Min	Medel	Max	Min	Medel	Max
1990	4.8	5.3	7.1	2.4	3.5	5.3	19	27	44	39	40	40	3.1	4.4	6.0
1997	4.4	5.3	6.8	2.0	3.2	5.3	18	26	43	36	38	38	3.1	4.4	6.0
1999	4.3	5.1	7.0	1.6	2.9	5.2	17	22	34	32	35	48	2.9	4.1	5.6
2000	2.6	4.7	7.1	1.5	3.0	5.5	9	17	33	19	35	40	3.0	4.3	5.9
2004	3.0	4.8	6.0	1.7	3.3	5.2	12	20	32	16	34	41	3.1	4.5	6.1

## 6. Dos–effekt samband för ozons inverkan på växtligheten

Alla dos-effekt relationer som används är baserade på vetenskapligt publicerade studier som utförts i Sverige, alternativt i de övriga Nordiska länderna. Samma studier är använda i det Europeiska luftvårdsarbetet, främst inom LRTAP konventionen, för att sätta gränsvärden ("critical levels") för att skydda växtligheten i Europa mot negativa effekter av ozon. En utförlig sammanställning över detta arbete finns i LRTAP konventionens "Mapping Manual" (2004).

### 6.1. Skog

Tillväxtförändringen orsakad av ozon, ett negativt värde, beräknades genom att tillväxten vid respektive ozonscenario subtraherades med tillväxten i avsaknad av ozonbelastning. En grundläggande utgångspunkt för beräkningarna av ozons inverkan på skogens tillväxt var att i den studie som tidigare gjorts för Östads Säteri (Karlsson m. fl., 2005) var det ingen betydande skillnad mellan den beräknade negativa ozoneffekten på den relativa stamtillväxten hos gran som ansattes utifrån experimentella data, -1.9%, och medelvärdet för ozonets effekt på den totala skördade volymen under en hundraårsperiod, -1.8%. Detta tyder på att det inte finns några betydande "dynamiska" effekter av ozon för volymstillväxten hos ett bestånd under en hundraårsperiod.

Många experimentella studier vad gäller ozonet inverkan på träd har använt relativt höga exponeringsnivåer, som inte är relevanta för svenska förhållanden. I denna studie är det särskilt intressant att jämföra effekterna av AOT40 och AOT30, eftersom dessa föreslås att användas vid det kortsiktiga, respektive långsiktiga målvärdet. Vid höga exponeringar blir den relativa skillnaden i det numeriska värdet relativt litet mellan dessa olika ozonindex. Vid t ex ett en-timmis värde för ozonkoncentrationen på 160 µg m<sup>-3</sup>, blir det numeriska värdet 80 och 100 µg m<sup>-3</sup> timmar för respektive AOT40 och AOT30. För ett en-timmis värde för ozonkoncentrationen på 100 µg m<sup>-3</sup>, blir det numeriska värdet 20 och 40 µg m<sup>-3</sup> timmar för respektive AOT40 och AOT30, en betydligt

större relativ skillnad. Därför har vi valt att använda endast svenska eller Nordiska studier för dos-effekt samband, där exponeringsförhållanden som är relevanta för svenska förhållanden har använts.

Vi har generellt strävat efter att inta en konservativ hållning vad gäller ozonets negativa inverkan på tillväxten hos träd. Detta innebär att vi har lagt oss i underkant vad gäller effektuppskattningar, i jämförelse med vad som finns rapporterat i den vetenskapliga litteraturen.

### 6.1.1. Dos-effekt samband för barrträd

De dos-effekt samband som använts i denna studie för barrträd härrör från ett experiment med granar i fältkammare, som genomfördes gemensamt av IVL Svenska Miljöinstitutet och Göteborgs Universitet vid Östad säteri, 45 km nordost om Göteborg. Granarna exponerades för olika ozonhalter under fyra år, 1992 – 1995, och träden var ca 0.5 m höga vid experimentets början och ca 2 m vid dess slut. Experimentet beskrivs i detalj i Pleijel (1999) och de resultat som används här finns vetenskapligt publicerade i Wallin m. fl. (2002). Ett översiktligt fotografi av försöksanläggningen Östads Säteri visas i figur 11. I denna studie använder vi resultaten från två olika ozonbehandlingar; 1, kolfiltrerad luft, där ozonhalterna motsvarar de som förekom i förindustriell tid; 2, förhöjda ozonhalter, där extra ozon tillfördes till de halter som förekom i omgivningsluften. I sistnämnda behandling höjdes ozonhalterna till ca 50% över omgivningsluftens. Ca 800 granar ingick från experimentets start, vilka sedan skördades efter hand under experimentets gång. Stamstorleken hos granarna, uttryckt som stamvolym, mättes på alla kvarvarande granar i november år 2, 3 och 4. Vi använder i denna studie endast mätningar från år 2 och 3, eftersom att det fanns misstankar om att träden år 4 blivit så stora att fältkammarna i sig började begränsa trädens tillväxt. Vi baserar vårt dos-effekt samband på skillnaderna mellan de två ozonbehandlingarna vad avser stammens tillväxthastighet mellan år 2 och 3, i relation till den genomsnittliga årliga ozondosen under experimentets tre första år. Det beräknade dos-effekt sambandet för barrträd visas i figur 10 vad gäller AOT40 och AOT30. Vid en årlig ozondos på AOT40 20 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar antogs tillväxthastigheten hos barrträd vara reducerad 2.6%.

I experimentet med gran som beskrivits ovan ingick kombinationsbehandlingar med ozon och två andra typer av stress, torkstress och näringsbrist (fosfor). Detta ökar resultatens realism i förhållande till ozonets inverkan på granar under fältmässiga förhållanden. Det är dock så att det dos-respons samband som vi använt härrör från experiment med unga träd, medan vi i denna studie applicerar detta på tillväxten hos vuxna träd i bestånd. Vilka bevis har vi då för att det dos-effekt samband som vi använder har relevans för vuxna träd?

I ett unikt experiment i södra Tyskland har ozon släppts ut på ett kontrollerat sätt i en skog med vuxen gran och bok blandat. I en nyligen publicerad studie (Wipfler m fl., 2005) har man statistiskt korrelerat en nedsättning av stamtillväxten hos vuxna granar med den ozonnivå som träden varit utsatta för under en treårs period. En skillnad i årlig ozonbelastning på ca 120 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar mellan omgivningsluften och luften med förhöjda ozonhalter resulterade i en nedsättning av stamtillväxten på 24%. Detta kan omräknas till en nedsättning av stamtillväxten på 4% per 20 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar AOT40. Detta värde är 50% högre jämfört med det dos-effekt samband som vi använde i våra beräkningar.

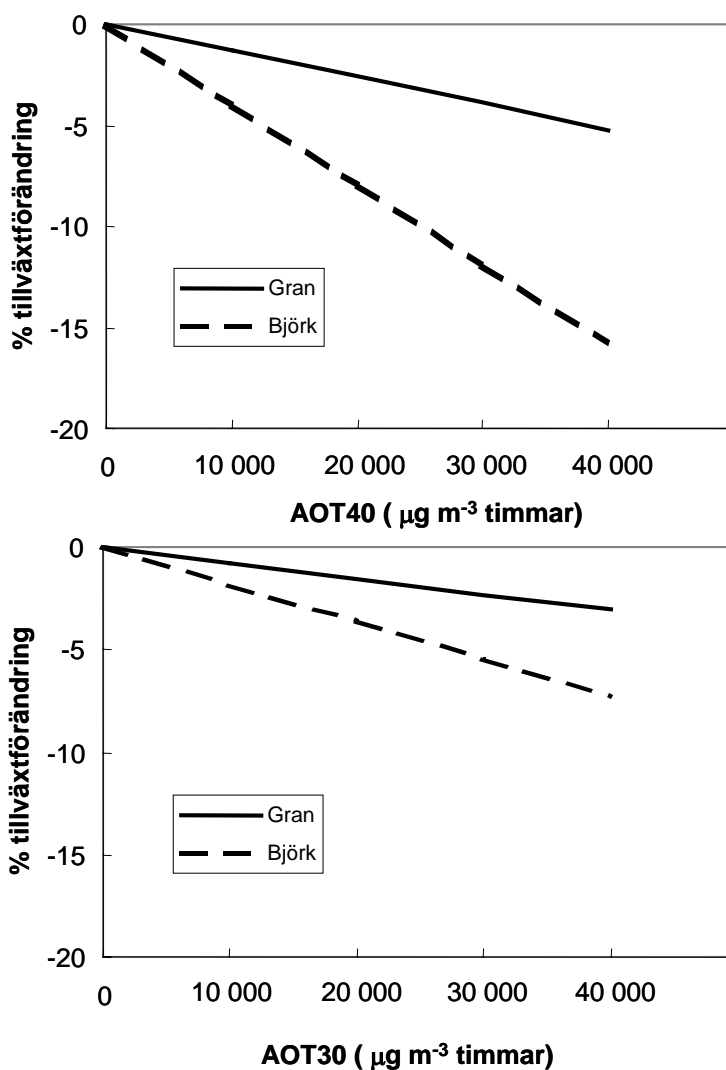




Figur 11. Ett fotografi av en del av de fältkammare som använts för experiment med ozon vid Östads Säteri. Kamrarna är ca 3 m i diameter och 2.5 m höga. En fläkt till varje kammare blåser in luft genom en perforerad innervägg dygnet runt. Luften kan filtreras från ozon eller tillsätts extra ozon.

Ytterligare information om inverkan av ozon på tillväxten hos gran kommer från en svensk studie där stamtillväxten, uttryckt som % ökning av stamdiametern per år, hos 50 vuxna granar har mätts årligen i ett område runt SLUs försökspark i Asa i Småland (Karlsson m fl., 2006). Vid försöksparken finns även meteorologiska mätningar samt mätningar av ozonhalterna i omgivningsluften. Dessutom har man mätt markvattenhalten vid de 10 försöksytorna där granarna växer. Genom att använda en avancerad, multipel regressionsanalys var det möjligt att statistiskt urskilja en negativ inverkan av ozonförekomsten på stamtillväxten hos granarna. På grund av att ozonförekomsten i viss mån samvarierar med meteorologiska parametrar måste man vara försiktig med att använda dessa statistiska resultat kvantitativt. Emellertid blev utfallet av den statistiska modellen att ozonförekomsten i intervallet 0 – 20 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar AOT40 orsakar en sänkning av stamtillväxthastigheten på med 0.8% per år. Detta är ett årligt absolutvärde för stamdiametertillväxten och kan jämföras med den genomsnittliga årliga stamtillväxten under perioden, som var 4.6% per år. Nedsättningen av stamtillväxten som den statistiska modellen tillskrev ozon var alltså ca 17% av medeltillväxthastigheten. Även detta värde är avsevärt högre än värdet på ozoneffekten som används i innevarande studie.

Sammantaget finns det vetenskapliga resultat som stöder att vi i våra antaganden inte överskattar ozonets negativa inverkan på stamtillväxten hos gran. För tall finns inga motsvarande studier av sambanden mellan ozonförekomst och tillväxt. Däremot finns flera studier från USA av andra arter av tall där det klart har visats att ozon kan påverka tillväxten negativt. Slutligen finns det en studie från Finland där 30 år gamla tallar exponerades för olika ozonhalter under tre år och där man fann en tydlig, negativ inverkan av ozon på fotosyntesen hos barren.



Figur 12. Dos-effekt samband som använts för barrträd (gran) och lövträd (björk), baserat på AOT40 (överst) och AOT30 (underst), för effekterna av ozon på tillväxthastigheten.

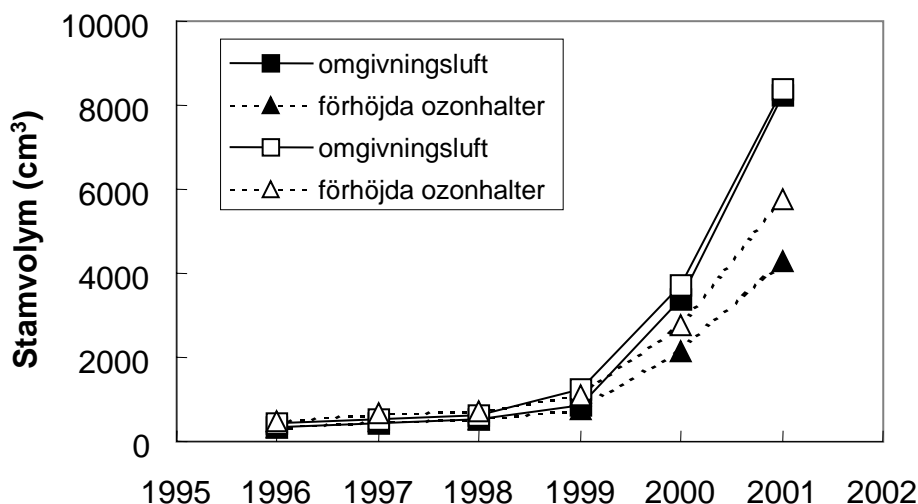
### 6.1.2. Dos-effekt samband för lövträd

Det dos – effekt samband som använts för lövträd grundar sig på ett två-årigt experiment med björkar i fältkammare, samma fältkammare som beskrivits ovan för experimentet med gran. Björkarna exponerades för tre olika ozonhalter 1997 – 1998, och träden var ca 2.5 m höga vid experimentets slut. Experimentet beskrivs i viss utsträckning i Pleijel (1999) och i sin helhet i den vetenskapliga artikeln Karlsson m fl (2003). I denna studie använder vi resultaten från tre olika ozonbehandlingar; omgivningsluft samt två olika tillsatser av extra ozon.

Björk har en tendens till att förändra sitt växtsätt som svar på olika stressfaktorer, till exempel genom att förändra kvoten mellan rotbiomassa och ovanjordisk biomassa. Därför har vi valt att använda den totala biomassan hos träden som effektparameter när vi beräknar effekterna av ozon.

Lövträd är i tidsperspektivet över ett par år generellt mer känsliga för ozon jämfört med barrträd. Den effekt av ozon på tillväxten som vi har uppskattat för björk är därför större, jämfört med den för barrträd (figur 12). Nedsättningen av tillväxten för björk uppskattas till 8% per 20 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar AOT40.

Det finns inga fältstudier av tillväxten hos björk som kan användas för att korrelera tillväxten mot ozonförekomsten, på samma sätt som beskrivits ovan för gran. Emellertid finns det ett långt experiment där unga björkar har vuxit under två olika ozonnivåer under sex år, se figur 13. Ozonbehandlingarna var omgivningsluft och omgivningsluft med extra ozon. Skillnaden mellan behandlingarna i den årliga ozonförekomsten var i medeltal under experimentet 28 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar. Den beräknade nedsättningen av stamtillväxten från detta experiment var 22% per 20 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar, vilket är nästan tre gånger så högt jämfört med det värde som använts i vår studie. I en studie från Schweiz har man korrelerat stamtillväxten hos vuxna bokträd med ozonförekomsten. Man uppskattade nedsättningen av stamtillväxten hos bok till 35% per 20 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar. Sammantaget kan man konstatera att även den inverkan av ozon som vi antagit för lövträd ligger i underkant jämfört med vad som finns rapporterat i den vetenskapliga litteraturen.



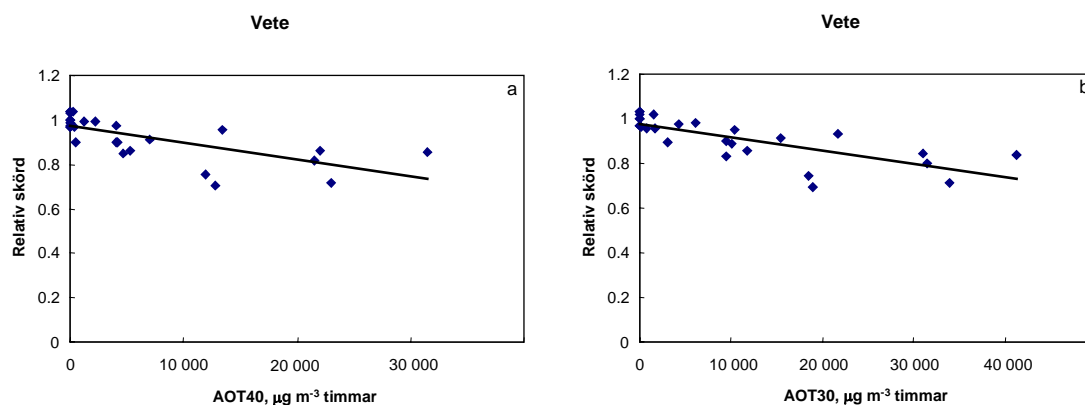
Figur 13. Effekter av två olika ozonbehandlingar på stamtillväxten hos unga björkar (*Betula pendula*) vid ett experiment i Kuopio, Finland. Björkarna växte antingen i omgivningsluft med förekommande ozonhalter (kvadratiska symboler) eller i luft med 50% förhöjda ozonhalter genom tillsats av extra ozon (trianglar). Träden hade olika genetiskt ursprung, vilket illustreras med fyllda respektive ofyllda symboler. Från Oksanen 2003.

## 6.2. Jordbruksgrödor

I rekommendationerna från den europeiska workshopen om kritiska nivåer för ozon i Hindås, november 2002, från det 16:e ICP Vegetation-mötet i Slovenien 2003 samt från ICP Mapping and Modelling-mötet i Bratislava, fastslogs att för uppskattningar av skördeförstörningar orsakade av marknära ozon skall i första hand fluxbaserade dos-respons relationer användas för de grödor där sådana finns utvecklade och då tillräcklig information finns för sådana uppskattningar. Då till dags dato sådana relationer endast finns utvecklade för vete och potatis och då de svenska miljömålen i nuläget är baserade på de koncentrationsbaserade AOT40/AOT30 indexen har för föreliggande studie dos-repons samband baserade endast på nordiska data tagits fram och utnyttjats.

### 6.2.1. Dos-effekt samband för vete

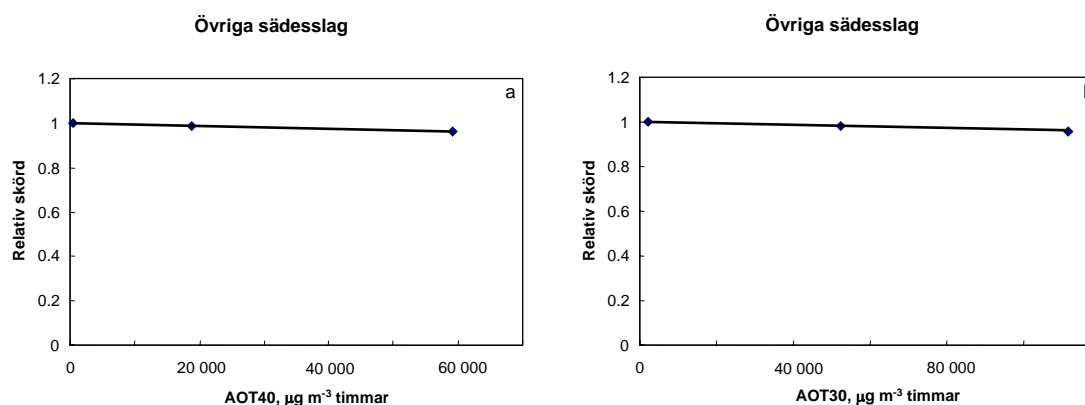
Dos-effekt sambanden (figur 14) som beskriver ozonpåverkan på veteskördens storlek är baserat på de nordiska data som även ligger till grund för ozonupptagsmodellen och det flux-baserade dos-responssambandet som finns beskrivet i Mapping Manual (2004), samt i Pleijel m fl. (2004). Ackumulationsperiodens längd är densamma som för det fluxbaserade dos-effekt sambandet, 55 dagar, och sträcker sig från dagnummer 182 till dagnummer 237.



Figur 14. Dos-effekt samband som använts för skördeförlostuppskattningar för vete. Skördeförlost *versus* AOT40 (a), skördeförlost *versus* AOT30 (b). Från Pleijel m. fl., 2004.

### 6.2.2. Dos-effekt samband för övriga sädeslag

Dos-effekt sambanden för övriga sädeslag (figur 15) bygger på svenska data från fältkammarexperiment utförda 1989 då korns ozonkänslighet undersöktes (Pleijel m fl., 1992). Ackumulationsperiodens längd och startdag är samma som för vete.

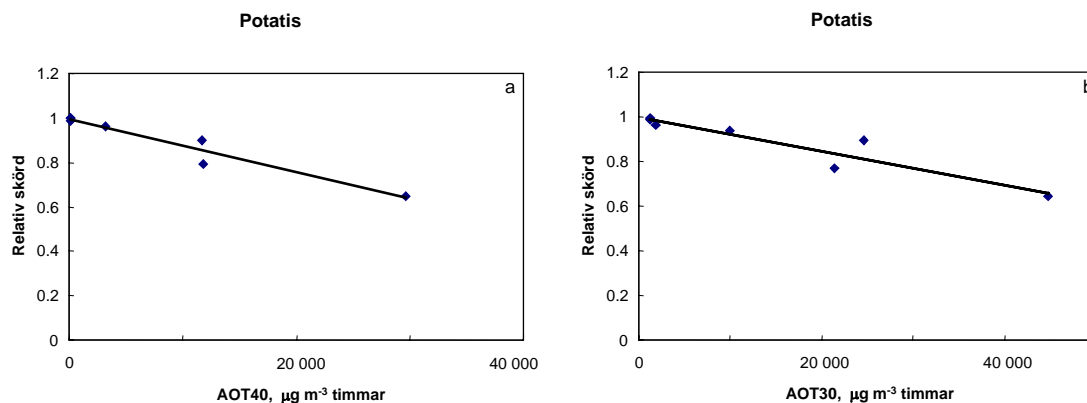


Figur 15. Dos-effekt samband som använts för skördeförlostuppskattningar för övriga sädeslag. Skördeförlost *versus* AOT40 (a), skördeförlost *versus* AOT30 (b). Från Pleijel m fl., 1992.

### 6.2.3. Dos-effekt samband för potatis

Liksom för vete, är de dos-effekt samband (Figur 16) som har använts för att uppskatta hur skördens storlek för matpotatis och potatis för stärkelseproduktion påverkas av ozon baserat på de nordiska data som även ligger till grund för ozonupptagsmodellen och det flux-baserade dos-effekt sambandet.

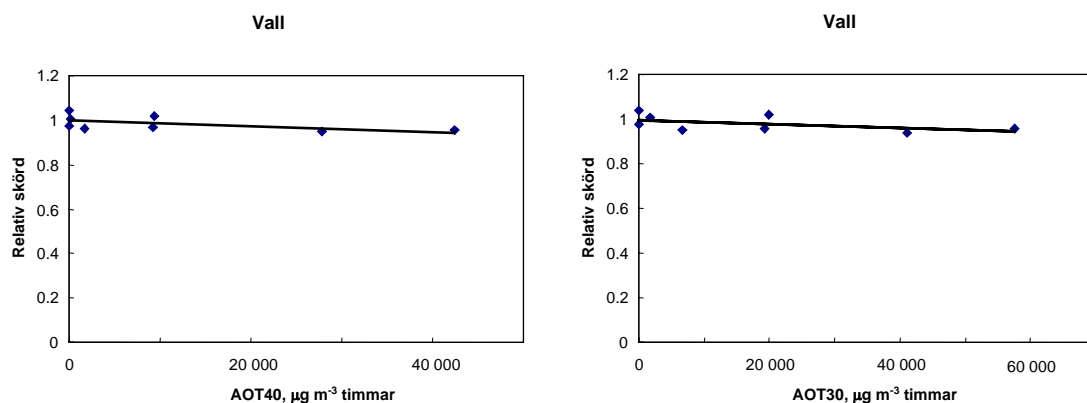
sambandet som finns beskrivet i Mapping Manual (2004), samt i Pleijel m. fl., (2002). Ackumulationsperiodens längd är densamma som för det fluxbaserade dos– respons sambandet, 70 dagar räknat från uppkomst. Dag för uppkomst satts till dag nummer 156 (5 juni).



Figur 16. Dos–effekt samband som använts för skördeförlostuppskattningar för potatis. Skördeförlost *versus* AOT40 (a), skördeförlost *versus* AOT30 (b). Från Pleijel m. fl., 2002

#### 6.2.4. Dos–effekt samband för vall

Dos-effekt sambandet för vall (figur 17) bygger på data från svenska ozonexponeringsförsök 1992 – 1993 (Pleijel m. fl., 1996). Eftersom man vid vallodling ofta skördar flera gånger per säsong är ackumulationsperiodens längd längre för vall än för övriga ingående grödor. För vall summeras AOT40 respektive AOT30 i 3 månader, från 1 juni till 31 augusti.



Figur 17. Dos-effekt samband som använts för skördeförlostuppskattningar för vall. Skördeförlost *versus* AOT40 (a), skördeförlost *versus* AOT30 (b). Från Pleijel m. fl. (1996).

## 7. Aspekter vad gäller den ekonomiska värderingen

### 7.1. För 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 alla markägare inom en viss EMEP ruta, 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. Den relativt lilla inverkan ozon har på skogens tillväxt (se figur 18), jämfört med frånvaro av ozonbelastning, antas inte medföra avsevärt klenare dimensioner vid avverkning. Därmed antas att den förändrade avverkade volymen har samma fördelning på timmer och massaved som dagens avverkning. 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.

Information om prissättning och ekonomi i samband med skogsavverkning har hämtats från Skogsstyrelsens hemsida, [www.skogsstyrelsen.se](http://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 tillvägagång vid de ekonomiska beräkningarna ges i Bilaga 2. En detaljerad beskrivning av priser och kostnader inom skogsbruket ges i Bilaga 3.

#### 7.1.1. Trädbränsle.

Hyggesrester (GROT) som går som trädbränsle betingar i dagsläget ungefär samma pris som massaved. Trädbränsle har därför inte behandlats särskilt i denna studie.

#### 7.1.2. Långsiktig kolinbindning till skogsmarken.

Den långsiktiga kolinbindningen till skogsmarken är föremål för stora forskningsinsatser och storleken på detta måste i dagsläget betecknas som kontroversiellt. Att sätta ett monetärt värde på detta representerar en ännu större utmaning. Slutligen är det i stort sett okänt hur ozonets negativa inverkan på skogen kan översättas till eventuella effekter på kolinbindningen. Därför har denna aspekt inte beaktats i denna studie.

Tabell 5. Genomsnittligt pris (SEK ton<sup>-1</sup>) för samtliga i studien ingående grödor.

Gröda	Grödegrupp	Pris	Genomsnittligt pris
Höstvete	Vete	994.27	994.27
Vårvete		994.27	
Råg	Övriga sädeslag	904.2	898.8417
Höstkorn		885.3	
Vårkorn		885.3	
Havre		868.8	
Rågvete		904.2	
Blandsäd		945.25	
Matpotatis	Matpotatis	1795.91	1795.91
Potatis för stärkelse	Potatis för stärkelse	524.59	524.59
Slätter- och betesvall	Vall	1200	1200

Tabell 6. Fördelning av grödor med avseende på användningsområde.

	Vete	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%
Energiproduktion	-	-	-	-	-

## 7.2. För jordbruksgrödor

Avräkningspriserna för spannmål, potatis och vall är löpande genomsnittspriser för perioden 2000-2004 (SJV, lantmännen). Dessa priser gäller för alla regioner i landet. När det gäller höstvetepriser som representeras i denna studie, har dessa varit konstanta under perioden 2000-2004. För övriga sädeslag, gäller genomsnittspriset för grödorna råg, höstkorn, vårkorn, havre, rågvete och blandsäd. Dessa priser har minskat under perioden 2000-2004 med mellan 2% för råg och 14% för havre. Då det handlar om vallpriser har dessa enligt Lantmännen varit konstant under perioden 2000-2004 (personlig kontakt med Lars Svensson på Lantmännen).

Tabell 6 visar fördelning av grödor med avseende på användningsområde där produktionen av vete, matpotatis och övriga sädeslag antas vara livsmedel. När det gäller potatis för stärkelse antas denna vara användas för industriellt bruk. För vall anses hela produktionen gå till djurfoder. För energiproduktionen utgår studien från att ingen av de studerade grödorna används för detta ändamål fastän detta är möjligt.

En mer detaljerad beskrivning av alla beräkningar ges i Bilaga 2.

## 8. Resultaten av beräkningarna

### 8.1. Kvantifiering av ozonets negativa inverkan på skog i Sverige

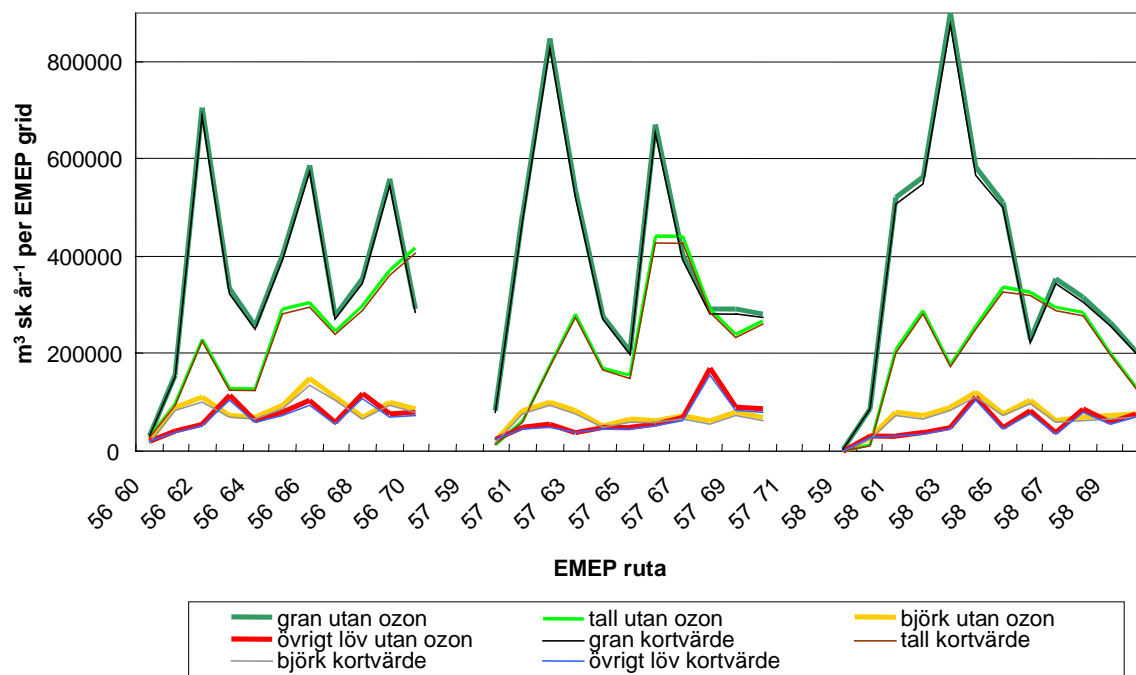
Den beräknade, årliga tillväxten för olika trädslag vid frånvaro av ozonbelastning och vid en ozonbelastning motsvarande det kortsiktiga målvärdet illustreras i figur 18 för ett urval av EMEP rutur i södra och mellersta Sverige. För flertalet av EMEP rutorna utgör gran en dominerande del av den totala tillväxten. Figuren illustrerar att de antagna effekterna av ozon på tillväxten är relativt små.

Det beräknade nedsättning av skogens tillväxt, beräknat som milj. m<sup>3</sup>f ub per år, som orsakas vid olika ozonscenarios redovisas summerat för olika trädslag och för olika regioner i tabell 7. Dessa siffror kan jämföras med den beräknade totala tillväxten för olika regioner och trädslag som redovisas i sektion 5.4.1 ovan.

Den årliga, summerade nedsättningen av tillväxten för alla trädslag för hela landet vid nuvarande ozonbelastning, jämfört med frånvaro av ozonbelastning, beräknas till 1.6 milj. m<sup>3</sup>f ub år<sup>-1</sup>. Detta kan jämföras med storleken på den årliga, summerade tillväxten för alla trädslag för hela landet vid nuvarande ozonbelastning, 79 milj. m<sup>3</sup>f ub år<sup>-1</sup>. Den årliga, summerade nedsättningen av tillväxten för alla trädslag för hela landet ökar till 2.8 milj. m<sup>3</sup>f ub år<sup>-1</sup> om vi antar att alla delar av Sverige utsätts för en ozonbelastning motsvarande det föreslagna kortsiktiga målvärdet. Under antagandet att alla delar av Sverige står under en ozonbelastning motsvarande det långsiktiga målvärdet minskar nedsättningen av tillväxten till 1.4 milj. m<sup>3</sup>f ub år<sup>-1</sup>, vilket summerat för hela Sverige är i nivå med nedsättningen vid nuvarande ozonbelastning. Vid det framtida scenario för år 2020 som har beräknats av EMEP modellen, minskar nedsättningen av tillväxten ytterligare till 1.0 milj. m<sup>3</sup>f ub år<sup>-1</sup>.

En granskning av de beräknade effekterna av ozon, vid nuvarande och prognostiserad framtida förekomst, på tillväxten i de olika regionerna och för olika trädslag visar att de största summerade effekterna finns i Götaland och att det trädslag som drabbas i störst utsträckning är gran. Detta beror på att ozonbelastningen är störst i Götaland samt att den största tillväxten förekommer för gran. Effekterna av ozon blir ungefär lika stora för tall och björk, medan effekterna på övriga lövträd blir mindre.





Figur 18. En jämförelse av beräknad tillväxt hos olika trädslag vid frånvaro av ozonbelastning och vid en ozonbelastning motsvarande det kortsiktiga målvärdet ("kortvärde"), applicerat för alla EMEP rutor. Figuren visar den summerade tillväxten per EMEP ruta för ett urval av EMEP rutor i södra och mellersta Sverige. För tolkning av EMEP rutornas beteckningar, se figur 4.

## 8.2. Ekonomisk bedömning av ozonets negativa inverkan på skog i Sverige

Det beräknade, samlade ekonomiska värdet av nedsättningen av skogens tillväxt, som orsakas av olika ozonbelastning i jämförelse med avsaknad av ozonbelastning, summerat för hela landet för alla trädslag var 338, 587, 293 och 219 MSEK per år, för respektive nuvarande ozonbelastning, kortsiktig målvärde applicerat över hela landet, långsiktigt målvärde över hela landet samt för ett uppskattat scenario för ozonbelastningen år 2020 (tabell 8, figur 19).

Den relativa fördelningen av kostnader mellan olika trädslag och regioner för nuvarande och framtida ozonbelastning, är i stort den samma som för den tillväxtnedgång som beskrivits ovan. De relativa skillnaderna mellan Götaland, Svealand och Norrland blir dock ännu större vad gäller ekonomiska värden, eftersom priserna i de flesta fall är högre i Götaland. Vidare får tall en större ekonomisk betydelse jämfört med björk. Även kategorin övrigt löv får en större betydelse, jämfört med björk, i Götaland och Svealand.

Att minska ozonbelastningen över hela landet från det kortsiktiga målvärdet till det långsiktiga målvärdet resulterar i en halvering av de beräknade kostnaderna. De beräknade kostnaderna vad gäller hela landet vid nuvarande ozonbelastning ligger strax ovanför de för det långsiktiga målvärdet. För det prognostiserade ozonscenariot för år 2020 ligger kostnaderna under de för det långsiktiga målvärdet.

Resonemanget ovan har en nationalekonomisk prägel och gäller kostnader för nationen som helhet. En mer nyanserad bild av konsekvenserna för den enskilde markägaren ges i tabell 9, där vi har

beräknat de årliga, ekonomiska effekterna för alla ozonscenarios och alla trädslag i respektive region, uttryckt som kronor per hektar av trädslaget i fråga. Genom denna beräkning har vi eliminerat effekterna av skillnader i den skogliga arealen mellan olika regioner och det som nu spelar roll, förutom storleken på ozonbelastningen, är skillnader i tillväxthastigheter, hur mycket av avverkningen som går till sågtimmer respektive massaved samt prissättningen. Vi presenterar även värden för en specifik EMEP ruta i syd-östra Skåne som representant för ett "worst case scenario".

De årliga, beräknade ekonomiska effekterna uttryckt per ha av trädslaget blir vid nuvarande ozonförekomst i medeltal mer än 10 gånger så höga i Götaland, jämfört med Norrland. De maximala värdena blir mer än 3 gånger högre i Götaland, jämfört med Norrland. De ekonomiska värdena per hektar för Götaland ökar något i medeltal vid det föreslagna kortsiktiga målvärden, jämfört med nuvarande ozonförekomst. Däremot minskar de maximala värdena för Götaland vid det kortsiktiga målvärdet jämfört med nuvarande ozonförekomst. Detta innebär att det föreslagna kortsiktiga målvärdet bör innebära en förbättring för de värst drabbade markägarna. Detta resultat får dock användas med viss försiktighet eftersom den nuvarande ozonbelastningen är beräknad för 20 m över marknivå medan det kortsiktiga målvärdet gäller 5 m över marknivå. Även om skillnader i ozonhalter mellan 5 m och 20 m över marknivån är små så kan små skillnader i ozonhalter ha en viss betydelse för beräkningen av AOT40, se vidare Bilaga 1.

De högsta värdena per hektar skog vid nuvarande ozonförekomst gäller kategorin övrig lövskog och områdena Bjärehalvön, sydligaste, sydöstra och nordöstra Skåne samt västra Blekinge. Detta orsakas av kombinationerna av hög ozonbelastning, hög förekomst av kategorin övrig lövskog, en betydande andel av avverkat övrigt löv som går som sågtimmer samt höga priser på sågtimmer från övrigt löv.

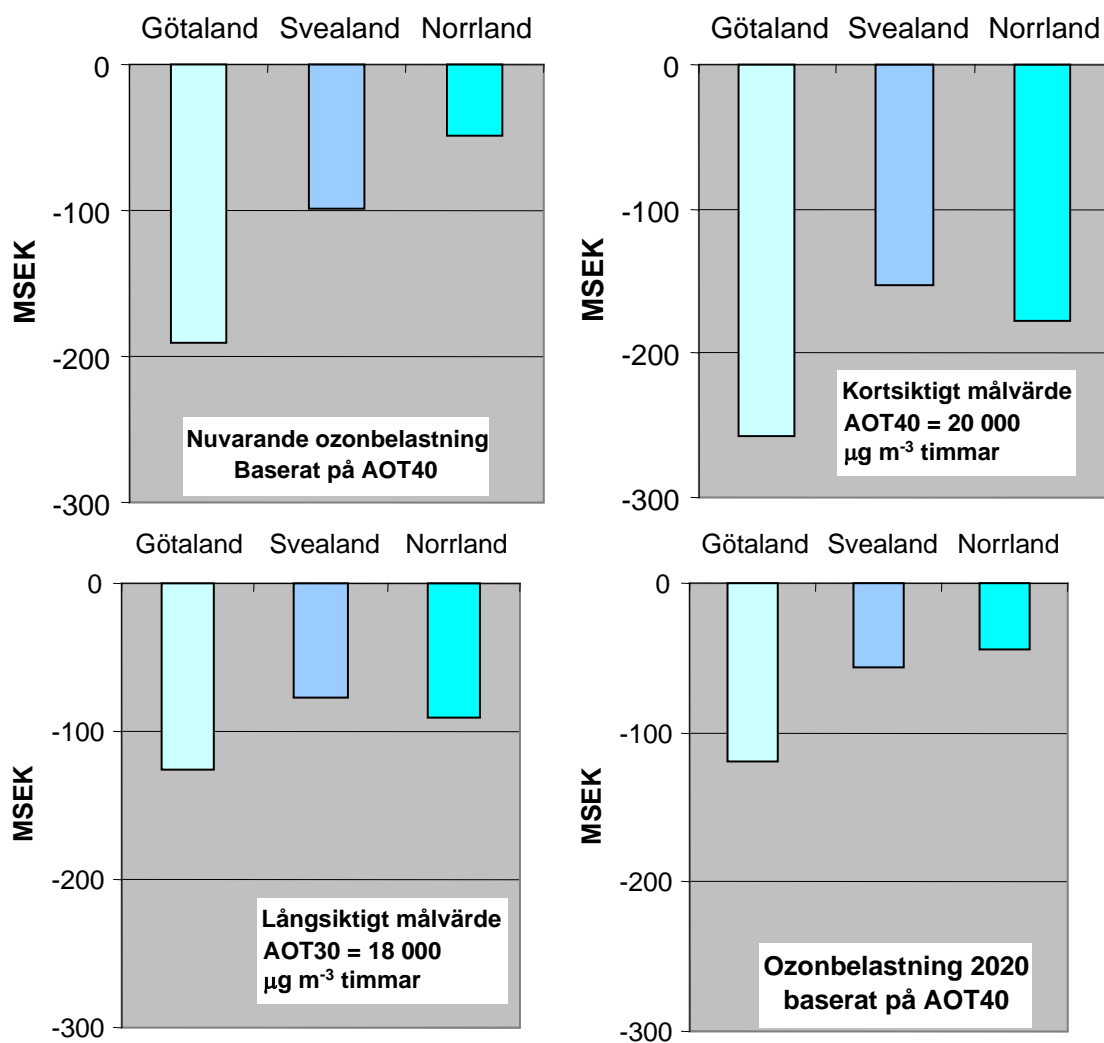
En jämförelse av det långsiktiga målvärdet med nuvarande ozonförekomst för Götaland visar att kostnaderna per hektar skog kommer att minska i medeltal 30-50% medan de maximala värdena kommer att minska ännu mer. För den specialstuderade EMEP rutan i sydöstra Skåne minskade kostnaderna per hektar skog med ca 20% vid det kortsiktiga målvärdet och med ca 60% vid det långsiktiga målvärdet, jämfört med nuvarande ozonförekomst.

Tabell 7. Beräknad nedsättning av tillväxten vid olika scenarios för ozonbelastning, jämfört med  
avsaknad av ozonbelastning, uppdelat i olika trädslag och för olika delar av landet.

	Tillväxtförändring, jämfört med avsaknad av ozonbelastning, Milj. m <sup>3</sup> f ub år <sup>-1</sup>			
	Götaland	Svealand	Norrland	Hela landet
Nuvarande ozonbelastning				
gran	-0.33	-0.17	-0.08	-0.58
tall	-0.11	-0.14	-0.10	-0.34
björk	-0.15	-0.11	-0.07	-0.34
övrigt löv	-0.20	-0.08	-0.02	-0.30
alla trädslag	-0.79	-0.51	-0.27	<b>-1.56</b>
Kortsiktigt målvärde				
gran	-0.45	-0.27	-0.28	-1.00
tall	-0.16	-0.22	-0.37	-0.76
björk	-0.21	-0.18	-0.26	-0.65
övrigt löv	-0.24	-0.11	-0.06	-0.41
alla trädslag	-1.06	-0.78	-0.97	<b>-2.81</b>
Långsiktigt målvärde				
gran	-0.24	-0.14	-0.15	-0.53
tall	-0.09	-0.12	-0.20	-0.40
björk	-0.09	-0.07	-0.11	-0.27
övrigt löv	-0.10	-0.05	-0.02	-0.17
alla trädslag	-0.51	-0.38	-0.48	<b>-1.37</b>
Prognos år 2020				
gran	-0.20	-0.10	-0.07	-0.38
tall	-0.07	-0.08	-0.09	-0.23
björk	-0.10	-0.07	-0.06	-0.22
övrigt löv	-0.13	-0.05	-0.02	-0.19
alla trädslag	-0.49	-0.29	-0.24	<b>-1.02</b>

Tabell 8. Beräknat värde för produktionsnedsättning vid olika scenarios för ozonbelastning, jämfört med avsaknad av ozonbelastning, uppdelat i olika trädslag och för olika delar av landet.

	Götaland	Svealand	Norrland	Hela landet
Värde av produktionsnedsättning, jämfört med avsaknad av ozonbelastning, M SEK per år				
Nuvarande ozonbelastning				
gran	-90.8	-41.3	-15.1	-147.2
tall	-28.5	-30.5	-23.1	-82.0
björk	-25.0	-15.7	-7.9	-48.6
övrigt löv	-45.9	-11.8	-2.3	-60.0
alla trädslag	-190.2	-99.2	-48.4	<b>-337.8</b>
Kortsiktigt målvärde				
gran	-123.8	-63.8	-52.6	-240.2
tall	-43.3	-48.7	-87.5	-179.5
björk	-34.2	-24.4	-30.3	-88.9
övrigt löv	-55.4	-15.8	-6.9	-78.1
alla trädslag	-256.7	-152.7	-177.3	<b>-586.7</b>
Långsiktigt målvärde				
gran	-65.8	-33.9	-27.9	-127.7
tall	-23.0	-25.9	-46.5	-95.4
björk	-14.3	-10.2	-12.6	-37.0
övrigt löv	-23.1	-6.6	-2.9	-32.5
alla trädslag	-126.2	-76.6	-90.0	<b>-292.7</b>
Prognos 2020				
gran	-56.4	-23.6	-13.9	-93.9
tall	-17.3	-17.5	-20.7	-55.5
björk	-15.5	-9.1	-7.2	-31.8
övrigt löv	-29.3	-6.4	-1.8	-37.5
alla trädslag	-118.6	-56.7	-43.6	<b>-218.8</b>



Figur 19. Summerat beräknat värde, MSEK per år, för produktionsnedsättning i skogsbruket i Sverige vid olika scenarios för ozonbelastning, jämfört med avsaknad av ozonbelastning. Summerat separat för Norrland, Svealand och Götaland, gemensamt för alla trädslag.

Tabell 9.. De årliga, ekonomiska effekterna för alla ozonscenarios och alla trädslag i respektive landsdel, uttryckt som kronor per hektar där trädslaget förekommer (SEK ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>). Värden anges dels som medelvärden för de EMEP rutor som ingår i landsdelen, dels som maximala värden för de EMEP rutor som ingår i landsdelen. Dessutom anges värden för en specifik EMEP-ruta belägen i sydöstra Skåne.

	Götaland		Svealand		Norrland		SÖ Skåne	
	Medelvärde	Max	Medelvärde	Max	Medelvärde	Max		
<b>Nuvarande ozonbelastning</b>								
gran	-36	-107	-16	-41	-3	-24	-83	
tall	-33	-102	-15	-39	-3	-30	-79	
björk	-46	-125	-22	-65	-4	-43	-99	
övr löv	-65	-180	-24	-68	-4	-43	-141	
<b>Kortsiktiga målvärdet</b>								
gran	-41	-85	-24	-39	-9	-22	-67	
tall	-38	-81	-22	-36	-12	-28	-64	
björk	-53	-81	-32	-64	-12	-41	-79	
övr löv	-76	-117	-34	-66	-12	-41	-114	
<b>Långsiktiga målvärdet</b>								
gran	-22	-45	-13	-21	-5	-12	-36	
tall	-20	-43	-12	-19	-6	-15	-34	
björk	-22	-34	-13	-27	-5	-17	-33	
övr löv	-32	-49	-14	-28	-5	-17	-48	
<b>Prognos 2020</b>								
gran	-24	-82	-10	-28	-3	-16	-55	
tall	-22	-78	-9	-26	-3	-21	-52	
björk	-30	-104	-13	-44	-3	-29	-65	
övr löv	-44	-150	-14	-46	-3	-29	-93	

### 8.3. Kvantifiering av ozonets negativa inverkan på jordbruksgrödor i Sverige

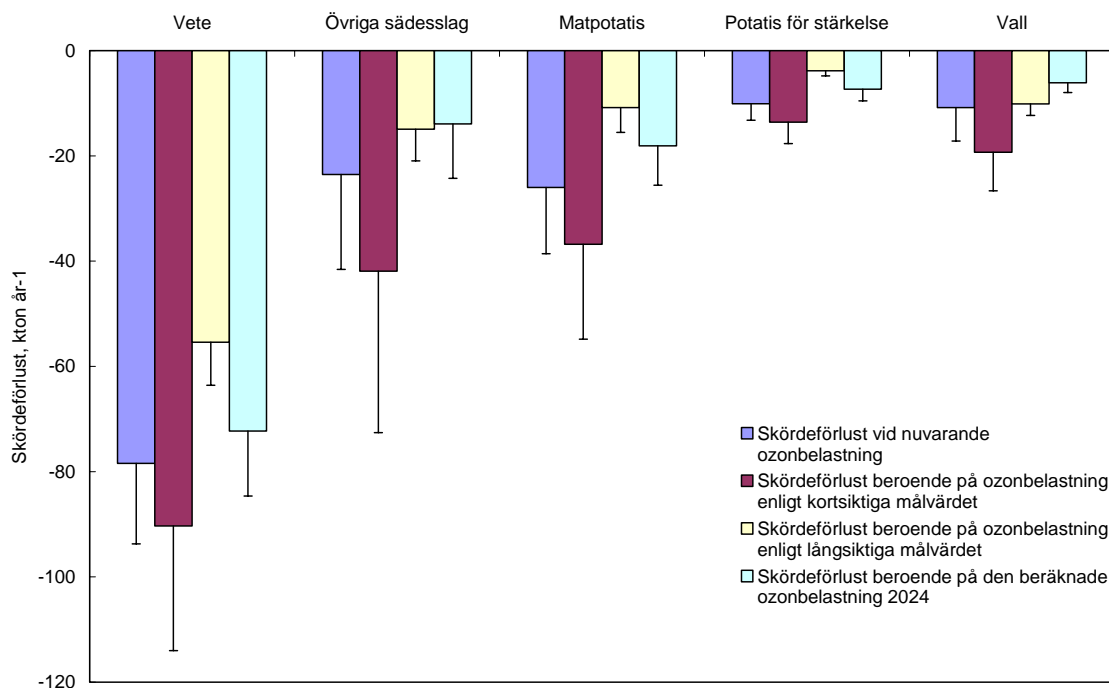
Vid kvantifiering av ozonets negativa inverkan på jordbruksgrödor i Sverige borde effekt förändringarna vara relaterade både till produktions kostnader och produkt kvalitet, t ex proteinhalt. Förändringarna i produktionskostnader leder till utbudsförändringar, medan förändringarna i kvalitet leder till efterfrågeförändringar av en viss gröda. I den här studien (och i brist på data för efterfrågesidan) är det enbart utbudssidan som undersökts. Detta värde är en underskattning av

förlusterna där några studier har visat att den totala förlusten kan förväntas bli dubbelt så stor (Karlsson m. fl., 2005).

I figur 20 presenteras uppskattade skördeförlost vid nuvarande ozonbelastning, vid kort- och långsiktiga målvärdet samt vid det prognostiserade värdet för AOT40 år 2020. Figuren visar tydligt att det kortsiktiga målvärdet vanligtvis underskrids vid nuvarande ozonbelastning. Av de år som ingår i studien överstigs aldrig det kortsiktiga målvärdet vad gäller summerade värden per landsdel. Däremot överstigs det långsiktiga målvärdet för de flesta av grödorna under flertalet år. När det gäller vete skulle skörden vara ca 20 kton högre  $\text{år}^{-1}$  om ozonhalterna redan nu vore av samma storlek som det långsiktiga målvärdet, jämfört med nuvarande ozonbelastning.

Prognostiserade AOT40-värden för 2020 tyder på att vi fortfarande vid detta år kan se en betydande skördeförlost orsakad av ozon framför allt för vete och potatis. Prognosen tyder på att AOT40-värdena år 2020 leder till större skördeförlost än vad som skulle vara fallet om det långsiktiga målvärdet för ozon skulle nås. Detta beror framför allt på att de prognostiserade värdena för AOT40 april-september för år 2020 är relativt höga för sydligaste delen av landet, se figur 6.

I tabell 10 presenteras de beräknade skördeförlosterna vid nuvarande ozonbelastning, vid kort- och långsiktiga målvärdet fördelade per landsdel.



Figur 20. Uppskattade skördeförlost,  $\text{kton } \text{år}^{-1}$ , av de i studien ingående grödorna vid nuvarande ozonbelastning, vid ozonbelastning motsvarande det kortsiktiga målvärdet samt det långsiktiga målvärdet och vid prognostiserade AOT40-värden år 2020. Medelvärden  $\pm$  standardavvikelse.

Tabell 10. Beräknad skördeförlost i medeltal vid nuvarande ozonbelastning, vid kortsiktiga respektive långsiktiga målvärdet samt vid prognostiserat värde för 2020 jämfört med vid avsaknad av ozonbelastning, uppdelat på grödeslag och landsdel.

Skördeförlost i jämförelse med skörd vid avsaknad av ozonbelastning, kton år <sup>-1</sup>				
	Götaland	Svealand	Norrland	Hela landet
<b>Nuvarande ozonbelastning</b>				
Vete	-61.7	-16.6	-0.1	-78.4
Övriga sädeslag	-18.5	-4.1	-0.9	-23.5
Matpotatis	-22.4	-1.9	-1.7	-38.6
Potatis för stärkelse	-10.0	-0.1	-0.0	-7.2
Vall	-7.4	-2.0	-1.5	-22.3
<b>Kortsiktigt målvärde</b>				
Vete	-71.0	-19.2	-0.1	-90.3
Övriga sädeslag	-31.8	-9.0	-1.1	-41.9
Matpotatis	-32.1	-3.0	-1.8	-46.5
Potatis för stärkelse	-13.5	-0.1	-0.0	-9.5
Vall	-13.4	-3.9	-2.1	-29.9
<b>Långsiktigt målvärde</b>				
Vete	-42.8	-12.5	-0.1	-55.4
Övriga sädeslag	-10.9	-3.6	-0.4	-14.9
Matpotatis	-9.3	-1.0	-0.5	-15.2
Potatis för stärkelse	-3.8	-0.0	-0.0	-3.4
Vall	-6.7	-2.2	-1.2	-13.4
<b>Prognos 2020</b>				
Vete	-55.8	-16.4	-0.1	-72.3
Övriga sädeslag	-10.5	-3.0	-0.4	-13.9
Matpotatis	-15.6	-1.5	-1.0	-19.1
Potatis för stärkelse	-7.3	-0.1	-0.0	-4.1
Vall	-4.2	-1.2	-0.7	-7.5

## 8.4. Ekonomisk bedömning av ozonets negativa inverkan på jordbruksgrödor i Sverige

I figur 21 och tabell 11 redovisas de uppskattade ekonomiska konsekvenserna av marknära ozon på grödors avkastning. Figuren redovisar effekterna vid nuvarande ozonbelastning, vid kort- och långsiktiga målvärdet samt vid prognostiserade AOT40 år 2020. Av figuren kan utläsas att nuvarande ozonbelastning orsakar skördeföruster med ekonomiskt värde på ca 160 miljoner



kronor årligen, men också att förlusterna under vissa år kan vara så stora som över 240 miljoner kronor. Vid det långsiktiga målvärdet skulle de ekonomiska förlusterna ha minskat med mellan ca. 30 och 110 miljoner kronor.

Om de prognostiserade AOT40-värdena år 2020 är korrekta skulle de årliga förlusterna då ligga på mellan 100 och knappt 200 miljoner kronor årligen.

En mer nyanserad bild av konsekvenserna för den enskilde bonden ges i tabell 12, där vi har beräknat de maximala årliga, ekonomiska effekterna för alla ozonscenarios och alla grödeslag i respektive landsdel, uttryckt som kronor per hektar av grödan ifråga. Vi presenterar liksom för skogen även värden för en specifik EMEP ruta i syd-östra Skåne.

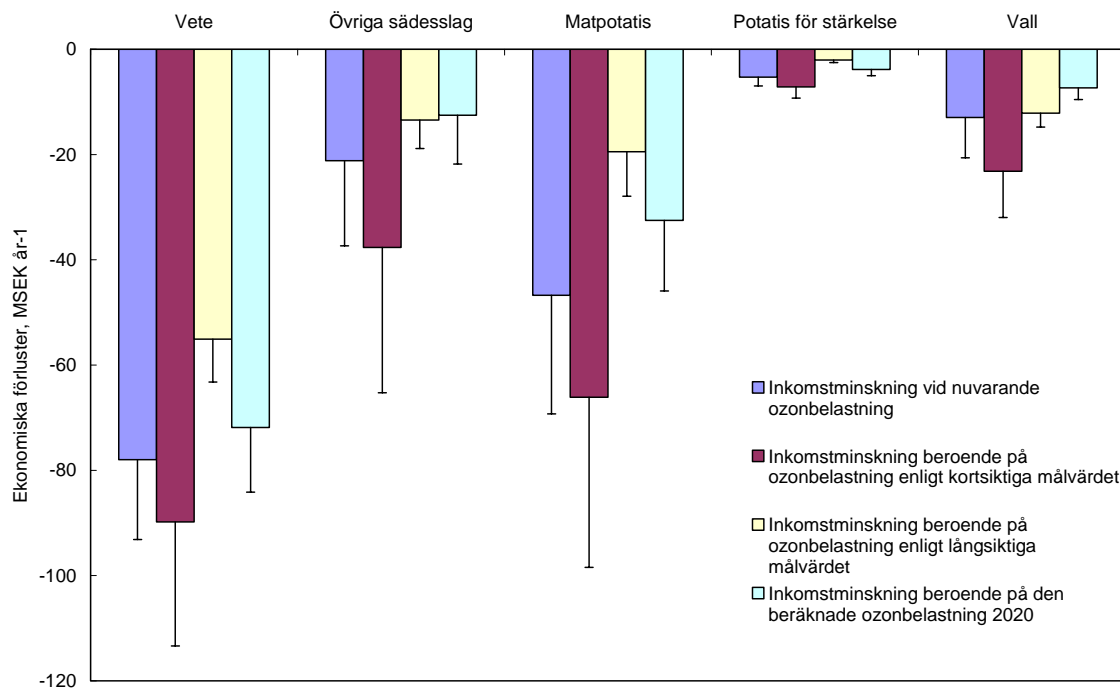
De maximala värdena för den årliga, beräknade ekonomiska effekterna uttryckt per ha av grödan blir vid nuvarande ozonförekomst mer än dubbelt så höga i Götaland, jämfört med Norrland, med värdena för Svealand däremellan. De maximala ekonomiska värdena per hektar ökar något vid det föreslagna kortsiktiga målvärdet, jämfört med nuvarande ozonförekomst. Däremot minskar de kraftigt vid det långsiktiga målvärdet jämfört med nuvarande ozonförekomst.

## **8.5. Sammanlagd ekonomisk bedömning av ozonets negativa inverkan på jordbruksgrödor och skog i Sverige**

I figur 22 redovisas de uppskattade, årliga ekonomiska konsekvenserna av marknära ozon vid olika scenarios, summerat för jordbruksgrödor och skog för hela landet. Summeringen avser alla trädslag och alla jordbruksgrödor som har beaktats i detta studie.

Av figur 22 framgår att den årliga kostnaden vid nuvarande ozonbelastning vad gäller negativa inverkan på skogsproduktionen och skördeutfallet i jordbruket beräknas till ca 500 MSEK. Vid scenariot att hela landet står under en ozonbelastning motsvarande det föreslagna kortsiktiga målvärdet ökar den beräknade kostnaden till ca 800 MSEK årligen. Vid det föreslagna långsiktiga målvärdet är motsvarande kostnad beräknad till ca 400 MSEK årligen. Vid den prognostiserade ozonförekomsten år 2020, slutligen, beräknas motsvarande, årliga kostnad till ca 350 MSEK.

Andelen av den totala beräknade kostnaden som kan hänföras till jordbruksgrödor ligger mellan 26 och 37 % för de olika ozonscenariona.



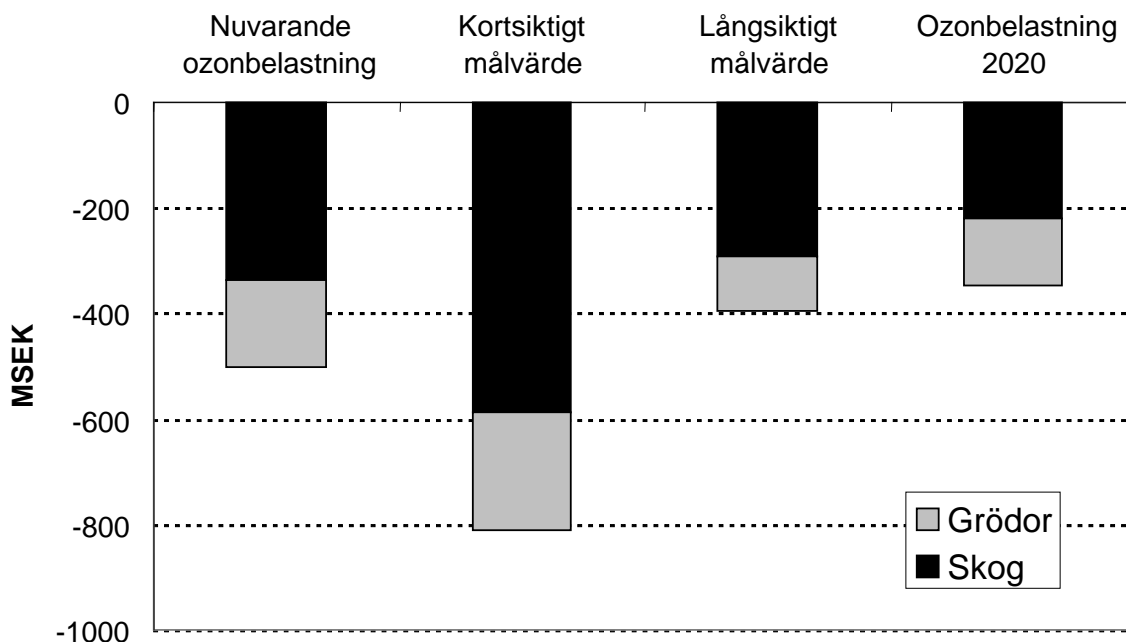
Figur 21. Ekonomiska förluster, MSEK år<sup>-1</sup>, orsakade av marknära ozon på de i studien ingående grödorna vid nuvarande ozonbelastning, vid ozonbelastning motsvarande det kortsiktiga målvärdet samt det långsiktiga målvärdet och vid prognostiserade AOT40-värden år 2020. Medelvärden ± standardavvikelse.

Tabell 11. Beräknade ekonomiska förluster vid nuvarande ozonbelastning, vid kortsiktiga respektive långsiktiga målvärdet samt vid det prognostiserade AOT40- värdet år 2020 jämfört med vid avsaknad av ozonbelastning. Summerat för hela landet, alternativt för olika landsdelar, och för alla ingående grödor.

Beräknade ekonomiska förluster i jämförelse med avsaknad av ozonbelastning,				
MSEK år <sup>-1</sup>				
	Götaland	Svealand	Norrland	Hela landet
Nuvarande ozonbelastning	-132.32	-26.05	-5.67	-164.05
Kortsiktigt målvärde	-179.92	-37.27	-6.68	-223.87
Långsiktigt målvärde	-79.18	-20.09	-2.83	-102.10
Prognos för 2020	-101.75	-23.12	-3.15	-128.02

Tabell 12. Beräknade maximala ekonomiska förluster vid nuvarande ozonbelastning, vid kortsiktiga respektive långsiktiga målvärdet samt vid det prognostiserade AOT40- värdet år 2020 jämfört med vid avsaknad av ozonbelastning. Data för nuvarande ozonbelastning har tagits från typåret 1997.

Beräknade maximala ekonomiska förluster i jämförelse med skörd vid avsaknad av ozonbelastning, SEK ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>				
	Götaland	Svealand	Norrland	S Ö Skåne
<b>Nuvarande ozonbelastning</b>				
Vete	-511	-251	-189	-452
Övriga sädeslag	-175	-42	-27	-141
Matpotatis	-5681	-3146	-2345	-5010
Potatis för stärkelse	-1428	-	-	-1260
Vall	-55	-26	-22	-47
<b>Kortsiktigt målvärde</b>				
Vete	-603	-352	-190	-507
Övriga sädeslag	-230	-96	-47	-174
Matpotatis	-6897	-4149	-2509	-5981
Potatis för stärkelse	-1828	-	-	-1504
Vall	-72	-36	-34	-58
<b>Långsiktigt målvärde</b>				
Vete	-253	-188	-130	-230
Övriga sädeslag	-46	-25	-12	-36
Matpotatis	-1709	-1045	-748	-1524
Potatis för stärkelse	-430	-	-	-383
Vall	-23	-15	-13	-20
<b>Prognos 2020</b>				
Vete	-391	-253	-190	-344
Övriga sädeslag	-103	-42	-22	-77
Matpotatis	-4034	-2197	-2410	-3110
Potatis för stärkelse	-1147	-	-	-782
Vall	-32	-17	-23	-25

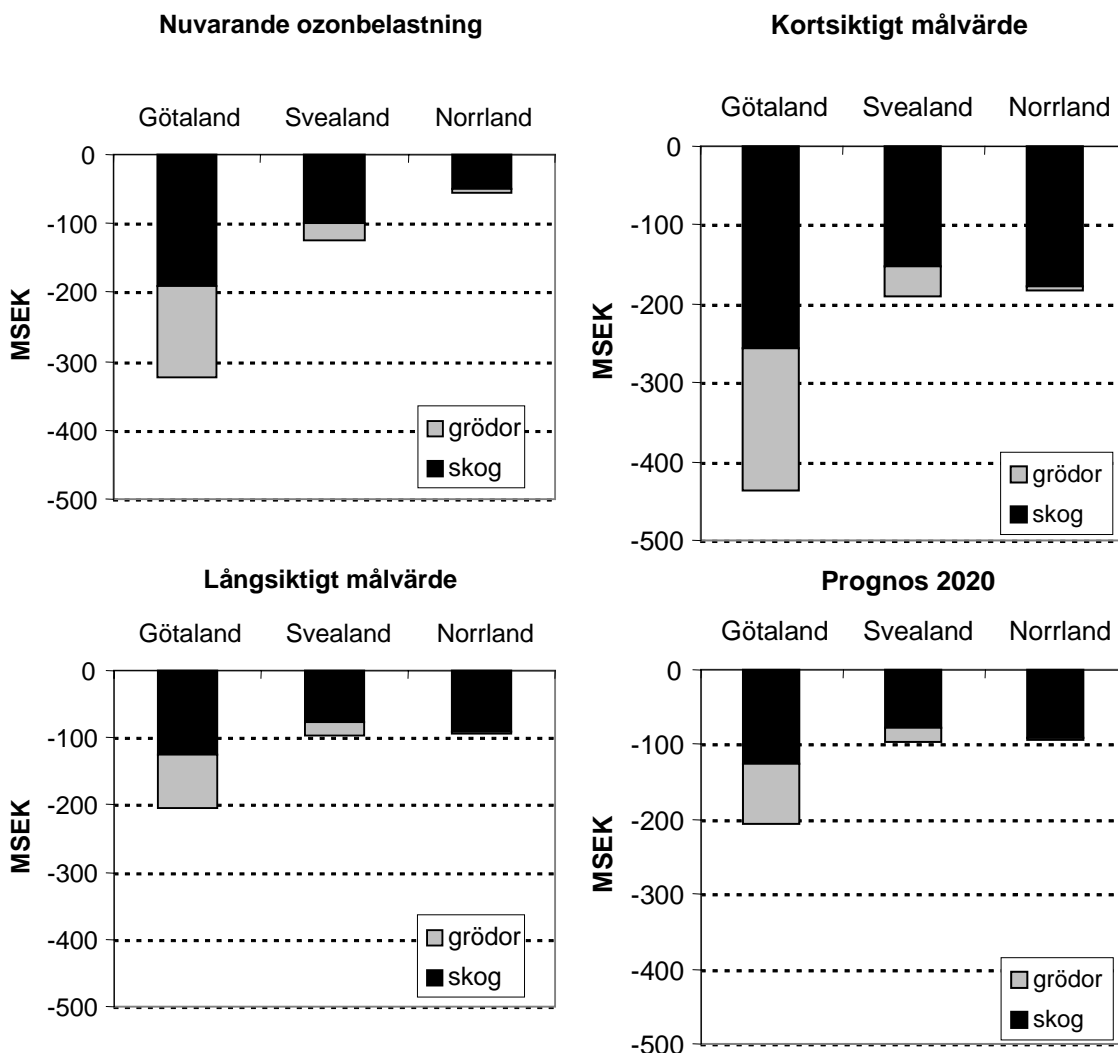


Figur 22. Summerade, årliga ekonomiska värden för skörde- och produktionsbortfall för jordbruksgrödor och skog i Sverige, försakade av marknära ozon vid olika scenarios. Värden är summerade för alla trädslag och för alla jordbruksgrödor för hela landet.

I figur 23 visas motsvarande, uppskattade, årliga ekonomiska konsekvenser av marknära ozon vid olika scenarios, summerat för jordbruksgrödor och skog och uppdelat på olika landsdelar. För alla ozonscenarion ligger mer än 50% av den totala kostnaden för hela landet i Götaland.

Det inte troligt att ozonbelastningen i Norrland skulle nå upp till det kortsiktiga målvärdet AOT40 20 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar inom den närmaste framtiden. Även om utsläppen av ozonbildande ämnen skulle öka betydligt ifrån kontinental Europa och Storbritannien, skulle detta förmodligen inte ge upphov till lika stor ökning av ozonbildningen i Norrland som i Götaland och Svealand. På lång sikt är det emellertid inte uteslutet med höga ozonbelastningar i Norrland om bakgrundshalterna av ozon för norra halvklotet fortsätter att stiga i sin nuvarande takt av ca 1  $\mu\text{g m}^{-3}$   $\text{år}^{-1}$ .

För att uppnå en mer realistisk jämförelse för den närmaste framtiden av de ekonomiska konsekvenserna vid det kortsiktiga och långsiktiga målvärdena räknade vi med ett scenario där en ozonbelastning motsvarande det kortsiktiga målvärdet applicerades för Götaland och Svealand, medan för Norrland antogs en ozonbelastning motsvarande det långsiktiga målvärdet. Detta jämfördes med ett scenario där det långsiktiga målvärdet applicerades för hela landet. Summerat för hela landet och för alla jordbruksgrödor och alla trädslag blev de ekonomiska konsekvenserna ca 700 MSEK årligen för scenariot med kortsiktigt målvärde för Götaland och Svealand, medan det blev ca 400 MSEK årligen när det långsiktiga målvärdet applicerades över hela landet. Skillnaderna blev således inte så stora jämfört med ovan beskrivna scenario där det långsiktiga målvärdet applicerades för hela landet.



Figur 23. Summerade, årliga ekonomiska värden för skörde- och produktionsbortfall för jordbruksgrödor och skog förorsakade av marknära ozon vid olika scenarios för olika landsdelar. Värden är summerade för alla trädslag och för alla jordbruksgrödor för hela landet.

## 9. Kvalitativa bedömningar av ozonets inverkan på naturlig vegetation i Sverige

### 9.1. Generella aspekter

Som nämnts inledningsvis har vi dåliga kunskaper om hur naturlig växtlighet (dvs växtlighet utöver skog och jordbruksgrödor) påverkas av ozon nära marken, i synnerhet vad gäller svenska förhållanden. Sannolikt riskerar vi dock inte att någon art försvinner helt från Sveriges flora på grund av ozon. Det man istället kan tänka sig är att artsammansättningen hos vissa växtsamhällen förändras vid höga ozonbelastningar.

På Europeanivå anser man generellt att ärtväxter (*Fabaceae*) tillhör de örter som är mest känsliga för ozon (Fuhrer m fl., 2005). Gräsmarker och ljunghedar förefaller vara de växtsamhällen som löper störst risk att förändras under höga ozonexponeringar (Mills m fl., 2005). Dessa uppskattningar involverar dock mycket stora osäkerheter.

I ett svenskt experiment med fältkammare (Danielsson m fl., 1999) utsattes plantor av timotej (*Phleum pratense*) och fjälltimotej (*Phleum alpinum*) för tre olika nivåer av ozonbelastningar. En jämförelse av ozonexponeringarna 20 och 2 600  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar visade inte på några skillnader i ovanjordisk biomassa eller synliga bladskador hos någon av arterna. En ozonexponering av 40 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar reducerade den ovanjordiska biomassan med ca 50% hos timotej, jämfört med den lägsta ozonexponeringen, och orsakade även tydliga, synliga bladskador. Effekterna av den högsta ozonexponeringen var ännu större för fjälltimotej, där den ovanjordiska biomassan reducerades med mer än 70%. I en senare studie (Danielsson, 2003) exponerades timotej för 24 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar AOT40 vilket reducerade ovanjordisk biomassa 30%. Det skall noteras att exponeringen pågick under ca två månader medan de föreslagna målvärdena inom Frisk Luft ackumuleras under 6 månader, 1 april – 30 september. De år då ozonförekomsten i omgivningsluften i södra Sverige under perioden april – september ligger över AOT40 20 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar ligger AOT40 under månaderna juli-augusti i nivån mellan 8 000 – 12 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar (figur 2).

I en annan svensk studie (Pleijel & Danielsson, 1997) testades ozonkänsligheten hos 27 olika svenska arter av örtartade växter i fältkammare. Den experimentella ozonexponeringen under en dryg månad var ca 8 000 och ca 22 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar AOT40 och effekterna jämfördes med en kontrollbehandling med kolfiltrerad luft med noll AOT40. Tre arter visade synliga bladskador efter ozonexponeringen, fjälltimotej, hundäxing (*Dactylis glomerata*) samt ljusgrön hundäxing (*Dactylis aschersoniana*). Man kunde i denna studie inte påvisa någon signifikant ozoneffekt på ovanjordisk biomassa.

Dessa studier visar på möjligheterna att ett gräs som timotej kan påverkas negativt av ozonbelastningen under de år då ozonförekomsten i södra Sverige överstiger 20 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar AOT40 under april – september.

## 9.2. Fjällvärdens ekosystem

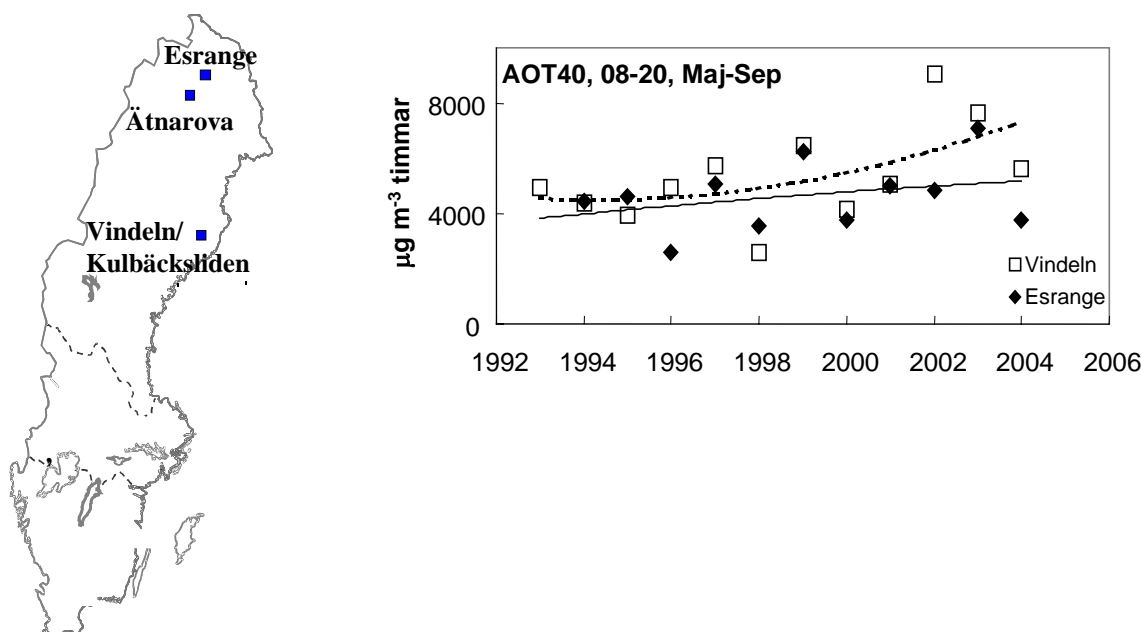
Två pågående globala eller hemisfäriska förändringar kan potentiellt ha en stor betydelse för risken att fjällvärdens ekosystem påverkas negativt av ozon nära marken. Den första förändringen är de ökande bakgrundshalterna av ozon som har observerats vid mätstationer över hela norra halvklotet (Simmonds et al., 2004). Denna förändring är även tydlig vid de två mätstationer för ozon som är placerade i norra Sverige (figur 24).

Den andra viktiga förändringen gäller klimatet i norra Sverige, där en ökande temperatur medför att växtsäsongen blir allt längre och startar allt tidigare på våren (figur 25). Det sistnämnda får en stor betydelse eftersom ozonförekomsten i norra Sverige är högst under månaderna april och maj (figur 26). Det är därför sannolikt att växtlighetens exponering för ozon i norra Sverige kommer att öka betydligt inom den närmaste framtiden.

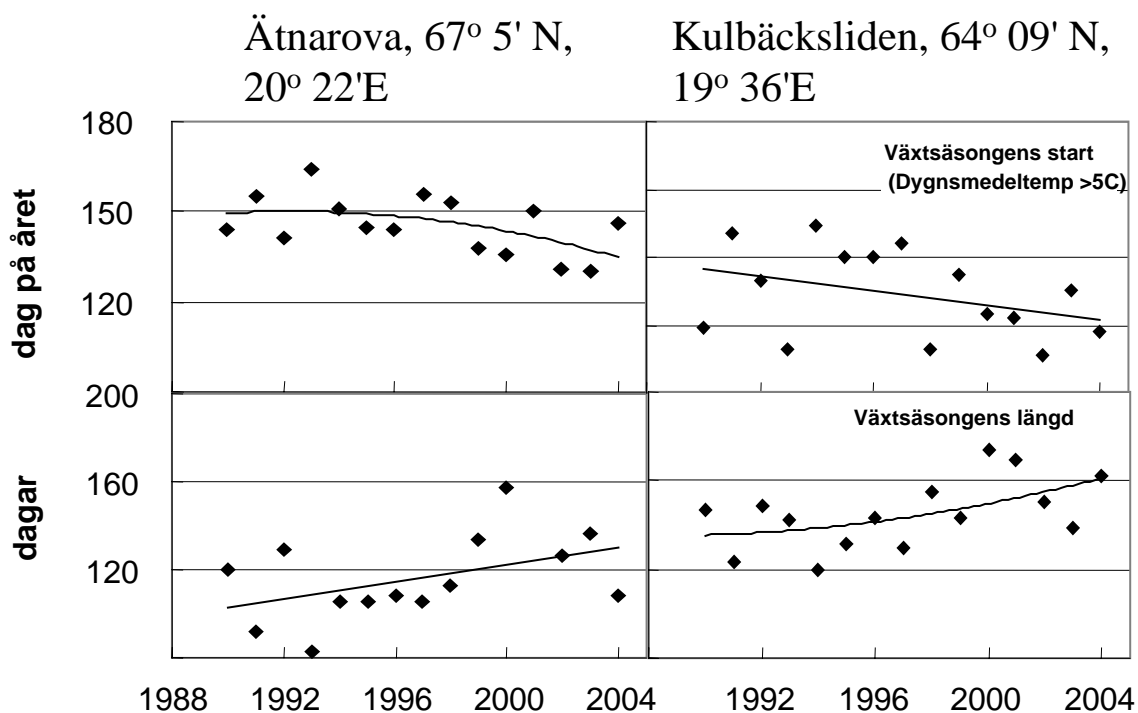
Inte oväntat finns det relativt få studier av hur de växtarter som förekommer i norra Sverige påverkas av ozon, i synnerhet under klimatförhållanden som är realistiska för denna region. En nyligen utkommen artikel sammanfattar på ett utmärkt sätt de studier som har gjorts och som går att applicera på de växtarter som förekommer i norra Sverige (Timonen m fl., 2004). Ur denna studie har vi valt ut några experiment där man kunnat påvisa synliga blad-skador orsakade av ozon

(tabell 13). De flesta har använt odlingskammare vid sina experiment. Eftersom växter i odlingskammare oftast är mer känsliga för ozon, jämfört med fältodlade, skulle man kunnat använda datamaterialet i tabell 13 för att sätta gränser under vilka det inte är troligt att dessa växter skadas.

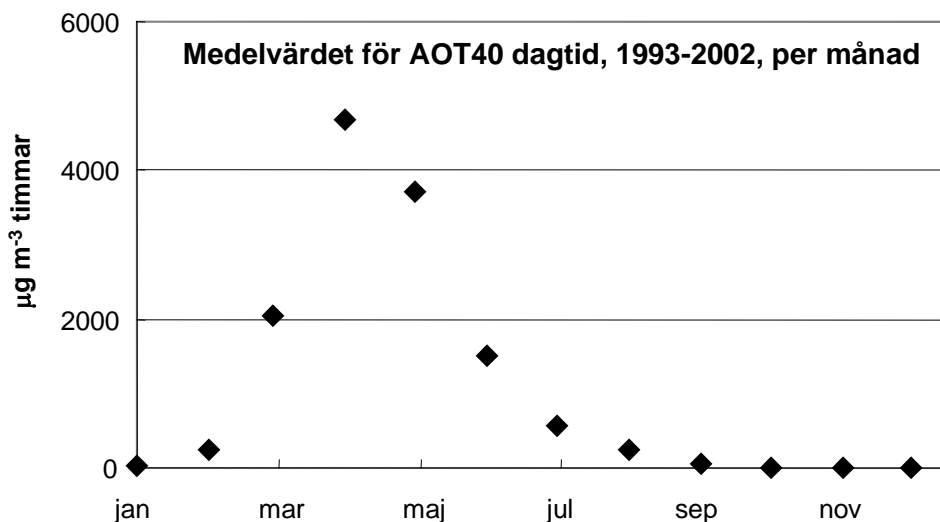
Vi kan konstatera att det finns ganska många växtarter som under dessa experimentella förhållande riskerar att skadas vid det föreslagna kortsiktiga målvärdet, AOT40 20 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar, med de förbehåll som diskuterats ovan. Vi kan dock även konstatera att inga av de örter eller gräs som anges i tabell 13 och som visar synliga bladskador vid AOT40 < 20 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar, är specifika för norra Sverige, med undantag av fjälltimotej. Fjälltimotej har dock endast visat synliga skador orsakade av ozon vid AOT40 < 20 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar vid exponering i odlingskammare, vilket gör att dessa resultat måste behandlas med försiktighet.



Figur 24. Värden för ozonexponering av växtligheten, beräknat som AOT40 för perioden maj - september, för två mätplatser i norra Sverige, Esränge och Vindeln. Vid bägge lokalerna mäts ozonhalterna med instrument 5 m över marknivå. Från Matyssek m fl., 2006.



Figur 25. Meteorologiska data från två av SLUs fältstationer som visar tidpunkterna för växstsäsongens början (översta figurerna), definierat som när dygnsmedeltemperaturen permanent överstiger 5 °C, samt växstsäsongens längd (understa figurerna), beräknad utifrån samma definition. Ätnarova ligger strax utanför Gällivare medan Kulbäcksliden ligger utanför Umeå. Data från SLU ([http://www-forsokspark.slu.se/Klimatdata/Klimat\\_arsrapporter.htm](http://www-forsokspark.slu.se/Klimatdata/Klimat_arsrapporter.htm)). Från Matyssek m. fl., 2006.



Figur 26. Vegetationens ozonexponering vid Esrange beräknat som AOT40 och dess fördelning över årets olika månader som medelvärden under perioden 1993-2002.

Vad gäller träd och buskar kan det noteras att flera arter, vårtbjörk, glasbjörk, fjällbjörk samt tall, visar en påverkan av ozon vid exponeringar som ligger inom eller strax över AOT40 < 20 000 µg m<sup>-3</sup> timmar. Dessa resultat kommer ifrån experiment som använt förhållandevis realistiska



exponeringsförhållanden. En viktig aspekt är dock att man vid experimenten använt unga, juvenila träd och vi kan inte avgöra om resultaten även gäller vuxna träd. Vad gäller experimentet med tall, så var det dock 30 år gamla träd som användes. Vad som är ytterligare intressant är att i experimentet av Manninen m. fl. (1999) visade fjällbjörk ifrån norra Finland en avsevärt större känslighet för synliga ozonskador på bladen, jämfört med en proveniens av glasbjörk som kom ifrån området kring ifrån Uleåborg. En familj av träd/buskar som ofta visat sig vara mycket ozonkänslig är *Salix* (viden). Även den närbesläktade *Populus* (Poppel)-familjen har ofta visat sig extremt ozonkänslig. Vid experiment med dessa trädfamiljer har det oftast använts sydliga provenienser, framförallt sådana som har varit aktuella att använda som energiskog. I fjällesystemen finns ofta många olika arter av viden. Ozonkänsligheten hos dessa är okänd, men potentiellt skulle flera av dessa arter kunna vara ozonkänsliga.

Vi kan dra slutsatsen att det finns osäkra indikationer på att några av de örtartade växter som förekommer i norra Sverige kan påverkas av ozonhalter under det kortsiktiga målvärdet. Osäkerheten består i att växterna har odlats under experimentella förhållanden som förmodligen inte är representativa för fältförhållanden. Vidare är det inga av de örter som endast förekommer i norra Sverige som visat någon tendens till ozonkänslighet. Vad gäller trädarter, så har unga träd av vårtbjörk, glasbjörk, fjällbjörk samt tall visat en känslighet för ozon vid doser vid eller strax över det föreslagna kortsiktiga målvärdet. De experiment som ligger till grund för detta har relativt stor trovärdighet, men gäller förutom tall strikt endast för unga träd. Vi har dock inga indikationer på att vuxna träd skulle vara mindre känsliga. Vad gäller alpina växter på högfjellet saknas information. Skogsområdena i norra Norrbottens län domineras av arterna tall, glasbjörk samt fjällbjörk. Samtliga dessa trädarter hör till dem som under experimentella förhållanden visat sig vara relativt ozonkänsliga. Det är därför av stor vikt att möjligheterna till negativ inverkan av ozon på ekosystemen i norra Sverige bevakas framgent.

Tabell 13. Information om vilka växtarter som kan uppvisa synliga bladskador efter exponering för ozon under experimentella förhållanden. Den AOT40 vid vilken bladskada konstaterats anges också. Data ifrån Timonen m. fl., 2004. Några data kommer ifrån andra studier, vilket markeras med asterisk. O, odlingskammare; F, fältkammare; OR, open-release system.

Svenskt namn	Vetenskapligt namn	Exponerings system	AOT40 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ timmar)
<b>Örter</b>			
Rallarros	<i>Epilobium angustifolium</i>	O	0
Gullris	<i>Solidago virgaurea</i>	O	0
Ängskovall	<i>Melampyrum pratense</i>	F	1120
Harsyra	<i>Oxalis acetocella</i>	F	1120
Skogsstjärna	<i>Trientalis europea</i>	F	1120
Skogsviol	<i>Viola riviniana</i>	F	1120
Höstfibbla	<i>Leontodon autumnalis</i>	O	3280
Kvanne	<i>Angelica archangelica</i>	O	3280
Smultron	<i>Fragaria vesca</i>	O	3280
Kärrtistel	<i>Cirsium palustre</i>	O	3280
Gullris	<i>Solidago virgaurea</i>	O	5600
Rödskint	<i>Centaurea jacea</i>	O	6600
Äkta Johannesört	<i>Hypericum perforatum</i>	O	6600
Svartkämpe	<i>Plantago lanceolata</i>	O	6600
	<i>Leucanthemum vulgare</i>	O	6680
<b>Gräs</b>			
Fjälltimotej	<i>Phleum alpinum</i>	O	0*****
Hundäxing	<i>Dactylis glomerata</i>	F	22900
Fjälltimotej	<i>Phleum alpinum</i>	F	22900
<b>Vedartade ris</b>			
Dvärgbjörk	<i>Betula nana</i>	O	27600
<b>Träd/buskar</b>			
Glasbjörk	<i>Betula pubescens</i> **	O	9100
Glasbjörk	<i>Betula pubescens</i> ***	OR	24000
Vårtbjörk	<i>Betula pendula</i> ***	OR	24000
Gråal	<i>Alnus incana</i> **	O	9100
Tall	<i>Pinus sylvestris</i> ****	F	38000
Fjällbjörk	<i>Betula pubescens</i> ssp <i>czerepanovii</i> *	F	10800

\* Manninen, S., Sorjamaa, R., Vanhatalo, M., Huttunen, S. 1999. Mountain birch shown high sensitivity to ozone. In Fuhrer, J. and Achermann, B. (eds) Critical Levels for Ozone - Level II. Environmental Documentation No. 115. Swiss Agency for Environment, Forest and Landscape, Bern. Switzerland.

\*\* Mortensen, L.M. and Skree, O. 1990. Effects of low ozone concentrations on growth of *Betula pubescens*, *Betula verrucosa* and *Alnus incana*. *New Phytologist* 115, 165-170.

\*\*\* Pääkönen et al., 1997. Uppmätt total bladyta per träd.

\*\*\*\* Kellomäki et al., 1997. Uppmätt en reducerad barrtillväxt.

\*\*\*\*\* Detta skall tolkas som att fjälltimotej påverkas negativt av ozonhalter under  $80 \mu\text{g m}^{-3}$

## 10. Diskussion av resultaten

### 10.1. Markanvändning samt skoglig- och jordbruksstatistik

Vi gör bedömningen att det underlag som vi använt i denna studie vad gäller markanvändning samt skoglig- och jordbruksstatistik har varit tillräcklig kvalitet för att inte orsaka några större felaktigheter i våra beräkningar.

### 10.2. Kvantitativa effektbedömningar

#### 10.2.1. Värden för ozonexponering

Användandet av modellerade värden från EMEP modellen för ozonexponering av växtligheten i denna studie ger upphov till vissa osäkerheter. Framför allt finns en tendens till att modellerade värden inte förmår att förutsäga de högsta och de lägsta förekomsterna av ozon. Vad gäller beräkningarna av effekterna för trädens tillväxt spelar detta mindre roll eftersom träd tenderar till att reagera ganska långsamt på ozonexponering. Vad gäller beräkningar av effekter på jordbruksgrödor kan det dock medföra att vi i denna studie ej fått med de högsta och de lägsta effekterna på skördebortfall. Detta har dock inte så stor betydelse eftersom de föreslagna målvärdena skall beräknas som medelvärden över tre år.

#### 10.2.2. Dos – effekt samband

Betydande osäkerheter i denna studie ligger i de dos – effekt relationer som använts, i synnerhet för skog. Det växtmaterial som används i experiment med ozon tenderar till att vara väl försedda med både vatten och näring och därför ha en hög tillväxthastighet. Det finns studier som tyder på ett samband mellan hög tillväxthastighet och hög ozonkänslighet. De experimentella data som vi har använt oss av kommer ifrån experiment med fältkammare, se figur 11. Fältkammare kan betraktas som små växthus som påverkar klimatet så att det blir varmare och torrare i luften inne i kamrarna jämfört med omgivande luft. Eftersom fläktarna till kamrarna är igång dygnet runt finns det också alltid en viss luftcirkulation inne i kamrarna, även om vindhastigheterna är betydligt under de som kan förekomma utanför kamrarna under dagtid. Alla dessa faktorer påverkar den effektiva dosen av ozon till växterna, vilket är den mängd av ozon som tas upp till bladen via klyvöppningarna. Fältkammare kan påverka effekterna av en viss ozonhalt i luften i båda riktningar, det kan både förstärka och minska effekterna. Denna fråga har varit föremål för diskussioner under lång tid. Vi är av åsikten att det inte finns några bevis för att effekterna av ozon i fältkammare skulle på ett betydande sätt avvika ifrån de som uppstår på friland.

Den största osäkerheten råder för inverkan av ozon på vuxna träd under fältmässiga förhållanden. Dessa har diskuterats under sektion 6.1. Det mesta tyder på att vi i denna studie ej har övervärderat effekterna av ozon på tillväxten hos träd.

Vad gäller jordbruksgrödor finns det starka indikationer på att ozon påverkar inte bara skördeutbytet utan även kvalitetsaspekter för den skördade grödan. Kvantitativa dos-effekt relationer för dessa effekter har dock ännu ej publicerats.

I en studie finansierad av Natuvårdsverket, som inom kort publiceras, jämförs de effekter av ozon som uppskattas om man använder koncentrations-baserade exponeringsindex jämfört med ozonupptag-baserade. Preliminär resultat från den parallella studien visar entydigt på att den ozonupptag-baserade metoden leder till högre skördebortfallsuppskattningar. Skillnaden mellan metoderna varierar mellan olika år beroende på att olika väderförhållanden medger olika ozonupptag. Att ozonupptags-metoden ger högre uppskattade bortfall beror troligen till en stor del på att tröskeln  $80 \mu\text{g m}^{-3}$  i AOT40, och i viss mån även tröskeln  $60 \mu\text{g m}^{-3}$  i AOT30, är högre än de som koncentrationer som kan ge upphov till effekter vid hög bladkonduktans. AOT40- och AOT30-indexen är därför alltför okänsliga för måttlig ozonbelastning för att avspegla växternas känslighet vid denna nivå på exponering, medan ozonupptags-metoden får med denna känslighet. Vid mycket höga exponeringar, som inte förekommer i Sverige, är denna effekt troligen mindre.

### 10.2.3. Indirekta ozoneffekter

Det har länge spekulerats i om exponering av ozon kan försvaga träd och grödor så att de blir mer mottagliga för t. ex. insekts- alternativt sjukdomsangrepp. Vid ett av de största pågående experimenten vad gäller ozon och växtlighet i Wisconsin, USA (<http://aspenface.mtu.edu/results.htm>) har man länge ansett att en art av björk (Paper birch, *Betula papyrifera*) varit relativt okänslig för ozonexponering. Nu efter 7-8 års exponering för förhöjda ozonhalter börjar man se massiva insektsangrepp på dessa träd som vuxit under höga ozonexponeringar (David Karnosky, personlig kommunikation).

### 10.3. Icke-monetära värden

En vanligt förekommande effekt av ozon är att förorsaka ett för tidigt åldrande hos bladen (t ex Pleijel m fl., 1997b). 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 27. 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 är svåra att sätta ekonomiska värden på.

### 10.4. Jämförelse med tidigare beräkningar

I denna studie beräknades den årliga summerade kostnaden för produktionsbortfall i skog till ca 340 MSEK. Detta kan jämföras med en tidigare studie (Karlsson m fl. 2005) där beräkningar för Östads Säteri skalades upp till nationell nivå, där kostnaderna för skogen beräknades till 500 MSEK årligen. Beräkningarna i innevarande studie visar alltså på kostnader i storleksordningen 70% av föregående studie vad gäller skogen. Detta beror sannolikt på den förfinade metodiken som använts i innevarande studie.

Vad gäller jordbruksgrödor beräknades de totala årliga nationella kostnaderna i innevarande studie till 160 MSEK för nuvarande ozonförekomst. Vid en tidigare studie (Karlsson m fl. 2005) som baserades på världsmarknads priser beräknades dessa kostnader till 260 MSEK endast för vete och potatis. Användningen av Svenska eller internationella priser förklarar inte dessa skillnader utan även här beror sannolikt de lägre beräknade ekonomiska värdena på den förfinade metodiken.



Figur 27. 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.

## 10.5. Relationer till andra kostnader inom jord- och skogsbruk orsakade av miljö- och markanvändningsproblem

De beräknade kostnaderna orsakade av ozon är av samma storleksordning jämfört med de kostnader skogsbruket i Sverige drabbas av årligen orsakade av olika skadegörare. Rotröta orsakad av rottickan är en allvarlig skadegörare på gran som leder till både kvalitetsnedsättning på virke och tillväxtförluster. Den ekonomiska skadan har beräknats till ca 500 MSEK per år (Bendz-Hellgren m fl., 1998). En annat problem är snytbaggen vilken genom gnag på plantor kan skada skogsförnyngingar. Kostnaden för snytbaggeproblemet har av Skogsstyrelsen uppskattats till 400 MSEK per år (Thuresson m fl., 2003). Rådjur och älg är skadegörare som genom betes- och gnagskador på yngre skog medför en årlig kostnad på ca 600 MSEK i form av kvalitetskador och reducerad tillväxt (Ingemarson m fl. 2005).

## 11. Sammanfattande bedömningar och rekommendationer i relation till en komplettering av de nationella delmålen för ozonets inverkan på växtligheten

### 11.1. Hur kan de föreslagna målvärdena för ozon och växtlighet uppnås?

Ozonförekomsten i Sverige beror till största delen på långväga transport av ozonbildande ämnen. Man har med EMEP modellen beräknat att en minskning av NO<sub>x</sub> utsläppen i Sverige med 15% kan leda till en minskning av AOT40 april – september i Sverige med högst 600 µg m<sup>-3</sup> timmar. Detta kan jämföras med en minskning av de samlade utsläppen av NO<sub>x</sub> från alla Europeiska länder med 15%, vilket beräknas leda till en minskning av AOT40 april – september i Sverige med upp till 3 000 µg m<sup>-3</sup> timmar (Klein m. fl., 2004).

Framtida förekomst av marknära ozon i Sverige kommer att bero på storleksordningarna hos två olika storskaliga förändringar. Förekomsten av korta episoder (dagar) med höga ozonhalter beror i huvudsak på transporter av förorenade luftmassor från södra och centrala Europa till våra breddgrader. Dessa ozonepisoder drabbar i första hand södra Sverige, även om det under våren även förekommer att förorenad luft från södra Europa ger upphov till ozonbildning i norra Skandinavien (Lindskog m fl., 2006). Storleken och frekvensen hos dessa ozonepisoder förutsägs minska på grund av minskade utsläpp av ozonbildande ämnen i Europa, främst i Tyskland, Benelux länderna, Frankrike och Storbritannien (Solberg m fl., 2005). När ozonepisoder inte förekommer, bestäms ozonbelastningen i Sverige i huvudsak av en bakgrundsnivå som i sin tur beror av diffusa transporter av ozon och ozonbildande ämnen över långa avstånd i den fria troposfären. Dessa transporter kan ske över hela norra halvklotet (Derwent m. fl., 2004). Det finns omfattande bevis från olika delar av Europa att denna bakgrundsnivå av ozon ökar med i storleksordningen 1 µg m<sup>-3</sup> årligen. Detta har man kommit fram till genom analyser av ozonhalter i luftmassor som kommer från Atlanten till Mace Head på Irlands västkust (Simmonds m. fl, 2004), genom analyser av ozonhalter på hög höjd i Alperna (Ordonez m fl., personlig kommunikation) samt genom analyser av ozonhalter i norra Sverige (Lindskog, 2003), norra Norge (Solberg, 2003) samt i Finland (Laurila m. fl., 2004). Ozonhalterna dagtid i norra Sverige ligger i medeltal under sommarhalvåret på mellan 60 och 80 µg m<sup>-3</sup>. En ökning av bakgrundshalterna under kommande 20 års period med 20 µg m<sup>-3</sup> skulle föra medelhalterna dagtid över det tröskelvärde som används för att ackumulera AOT40, 80 µg m<sup>-3</sup>, och således medföra en kraftig ökning av detta ozonindex över hela landet. Till detta kommer effekterna av eventuella kvarvarande ozonepisoder.

Resonemanget ovan illustrerar svårigheterna med att förutse över vilka delar av landet som de kortsiktiga och långsiktiga målvärdena kommer att överskridas om t ex 20 år. I nuläget överskrider det kortsiktiga målvärdet i huvudsak i Skåne samt längs de sydligaste delarna av väst- och östkusten (figur 4). Dessa överskridanden kan inte påverkas av utsläpp av ozonbildande ämnen i Sverige, eftersom luftmassorna kommer att hinna transporteras norröver och in över land innan detta kommer att ha effekt på ozonförekomsten. Det är således klart att enda sättet för Sverige att uppnå de föreslagna målvärdena är att fortsätta verka för de internationella förhandlingarna om minskningar av utsläpp av ozonbildande ämnen, både på Europa-nivå och globalt.

## 11.2. Vilket synsätt skall man använda, nationellt eller småskaligt ?

Man kan använda två olika synsätt vad gäller frågan om målvärden för att begränsa inverkan av ozon nära marken på växtligheten i Sverige. Det första synsättet har en nationalekonomisk prägel, där man beaktar de summerade kostnaderna för alla skogsägare och bönder i landet eller i en viss landsdel. De summerade, årliga kostnaderna för ozonets negativa inverkan på jord- och skogsbruk beräknades för hela landet till ca 500 MSEK vid nuvarande ozonförekomst. Detta värde är lägre än det värde vi beräknar om vi antar att hela Sveriges areal står under en ozonbelastning motsvarande det föreslagna kortsiktiga målvärdet till skydd för växtligheten, vilket var ca 800 MSEK årligen. Detta kan tolkas som att nuvarande ozonförekomst ligger långt under det kortsiktiga målvärdet. När man istället använder ett annat synsätt framkommer en annan bild, nämligen att kostnaderna vid nuvarande ozonförekomst beräknat per hektar av ett visst trädslag för de värst drabbade skogsägarna i Götaland ligger i samma nivå eller högre jämfört med de beräknade kostnaderna vid en ozonbelastning motsvarande det kortsiktiga målvärdet.

## 11.3. Rekommendationer

Vi rekommenderar införandet av ett kortsiktigt målvärde för ozon till skydd för växtligheten till år 2015, AOT40 april – september  $20\ 000\ \mu\text{g m}^{-3}$  timmar, med det kortsiktiga motivet att det bidrar till att begränsa de negativa effekterna för de värst drabbade markägarna i Götaland. Det långsiktiga motivet till att införa målvärdet är att stigande bakgrundshalter av ozon gör att vi riskerar framtida överskridanden av detta målvärde över större delar av Sverige, beroende på hastigheten varmed bakgrundshalterna av ozon ökar.

Den ekonomiska nyttan vad gäller minskad påverkan på växtligheten om det kortsiktiga målvärdet för ozon ej överskrids i någon del av landet, i jämförelse med nuvarande ozonbelastning, är svår att förutse. Om vi använder det scenario som EMEP modellen förutser för år 2020 och jämför detta med nuvarande ozonbelastning blir den ekonomiska vinsten 150 MSEK årligen. Även dessa beräkningar beror dock starkt av hastigheten varmed bakgrundshalterna av ozon ökar.

Att minska ozonbelastningen till det föreslagna långsiktiga målvärdet för ozon till skydd för växtligheten till år 2050, AOT30 april – september  $18\ 000\ \mu\text{g m}^{-3}$ , skulle kraftigt reducera de beräknade kostnaderna för ozonets negativa verkan, såväl nationellt för skogs- och jordbruket i stort, som i synnerhet för de värst drabbade skogsägarna och bönderna i Götaland.

## 12. Tack

Vi riktar ett stort tack till David Simpson, EMEP MSC-W, Meteorologisk Institut Norge, för att han försett oss med modellerade data vad gäller meteorologi och ozonhalter i Sverige.

## 13. Referenser

- Andersson M., Dahlin B. & Mossberg M. 2005. The Forest Time Machine. Computers and Electronics in Agriculture 49 (2005) 114–128.
- Danielsson, H., Gelang, J., Pleijel, H. 1999. Ozone sensitivity, growth and flower development in Phleum genotypes of different geographical origin in the Nordic countries. Environmental and Experimental Botany, 42, 41 - 49.
- Danielsson, 2003. Exposure, uptake and effects of ozone. Avhandling i Tillämpad Miljövetenskap vid Göteborgs Universitet.
- Derwent, R., Stevesson, D. S., Collins, W. J., Johnson, C.E. 2004. Intercontinental transport and origins of the ozone observed at surface sites in Europe. Atmospheric Environment 38, 1891 – 1901.
- EMEP 2005. Transboundary acidification, eutrofication and ground level ozone in Europe 2003. EMEP Report 1/2005. ISSN 0806-4520
- Forsberg, B., Modig, L., Svanberg, P.-A., Segerstedt, B. 2003. Hälsokonsekvenser av ozon. Umeå Universitet, Institutionen för folkhälsa och klinisk medicin. Rapport till Statens Folkhälsoinstitut.
- Fuhrer, J., . 2005. Bassin, S., Volk, M., Mills, G., Jones, m. L. M., Hayes, F., Ashmore, M. 2005. Impacts of ozone on communities of (semi) natural vegetation. Bakgrundsdokument till LRTAP konventionens workshop ”Critical levels of ozone: further applying and developing the flux-based concept” i Obergurgl, november 2005.
- Hasund, K. P., Hedvåg, L. & Pleijel, H. (1990). Ekonomiska konsekvenser av det marknära ozonets påverkan på jordbruksgrödor. Naturvårdsverket. Rapport 3862.
- Holland, M., Kinghorn, S., Emberson, L., Cinderby, S., Ashmore, M., Mills, G., Harmens, H. 2006. Development of a framework for probabilistic assessments of the economic losses caused by ozone damage to crops in Europe. IVP Vegetation Report for DEFRA Contract EPG 1/3/2005.
- Ingemarson, F., Cleasson, S. & Thuresson, T. 2005. Älg- och rådjurstammarnas kostnader och värden. Skogsstyrelsen. Preliminär rapport. 2006-03-24.  
<http://www.svo.se/episerver4/dokument/sks/aktuellt/press/2005/viltstamsrapport.pdf>
- Innes, J.L., Price C., 1999. Determination of economic losses associated with ozone impacts on European forests. In: Critical Levels for Ozone – Level II; J Fuhrer & B Achermann, eds., pp. 45-49. Swiss Agency for Environment, Forests and Landscape, Berne.
- 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., Håkan Pleijel, Helena Danielsson, 2004. Marknära ozon, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> och sot vid Östads Säteri 1987-2003. IVL Report B1556
- Karlsson, P.E., Håkan Pleijel, Mohammed Belhaj, Helena Danielsson, Bo Dahlin, Mikael Andersson, Max Hansson, John Munthe, Peringe Grennfelt. 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., Göran Örlander, Ola Langvall, Johan Uddling Urban Hjorth, Kerstin Wiklander, Björn Areskoug, Peringe Grennfelt. Negative impact of ozone on the stem basal area increment of mature Norway spruce in south Sweden. Forest Ecology and Management. In press.
- Kellomäki, S. and Wang, K.Y. 1997. Effects of elevated O<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub> on chlorophyll fluorescence and gas-exchange in Scots pine during the third growing season. Environmental Pollution 97, 17-27.
- Klein, H., Wind, P., van Loon, M. 2004. Transboundary air pollution by main pollutants (S,N,O<sub>3</sub>) and PM. EMEP MSC-W Data Note 1/2004. ISSN 0804-2446.



- Langner, J., Bergström, R., Klein, T. och Skagerström, M. 2004. Nuläge och scenarier för inverkan på marknära ozon av emissioner från Västra Götalands län. SMHI. Meteorologi, Nr. 117, 2004
- Lantmännen (2005) personlig kontakt med Lars Svensson.
- Laurila, T., Tuovinen, J.-P., Tarvainen, V., Simpson, D. 2004. Trends and scenarios of ground-level ozone concentrations in Finland. *Boreal Environmental Research* 9, 167-184.
- Lindskog, A., 2003. Ozone observations in Swede. QC, seasonal cycles and trends. In: TOR-2, EUROTRAC-2, Final Report. EUROTRAC International Scientific Secretariat, GSF-I National Research Center for Environment and Health, Munich, Germany, pp. 104-108.
- Lindskog, A., Karlsson, P.E., Grennfelt, P., Solberg, S., Forster, C. An exceptional ozone episode in northern Fennoscandia. Inskickad till *Atmospheric Environment* Maj 2006.
- Mahlander, C., Hellsten, S., Akselsson, C., Ekstrand, S. 2004. National land cover mapping for air pollution studies. IVL Rapport B 1499.
- Manninen, S., Sorjamaa, R., Vanhatalo, M., Huttunen, S. 1999. Mountain birch shown high sensitivity to ozone. In Fuhrer, J. and Achermann, B. (eds) *Critical Levels for Ozone - Level II. Environmental Documentation No. 115.* Swiss Agency for Environment, Forest and Landscape, Bern. Switzerland
- Mapping Manual, 2004. Revised manual on methodologies and criteria for mapping critical levels/loads and geographical areas where they are exceeded. Umweltbundesamt, Berlin, Germany. (<http://www.oekodata.com/icpmapping/index.html>)
- Matyssek, R., Bytnerowicz, A., Karlsson, P.E., Paoletti, E., Sanz, M., Schaub, M., Wieser, G. 2006. Promoting the O<sub>3</sub> flux concept for European forest trees. *Environmental Pollution*, accepted for publication March 2006.
- Mills G., Jones M.L.M., Hayes F, Fuhrer J. 2005. Identifying ozone-sensitive communities of (semi-)natural vegetation for mapping exceedance of critical levels. Bakgrundsdokument till LRTAP konventionens workshop "Critical levels of ozone: further applying and developing the flux-based concept" i Obergurgl, november 2005.
- Mortensen, L.M. and Skree, O. 1990. Effects of low ozone concentrations on growth of *Betula pubescens*, *Betula verrucosa* and *Alnus incana*. *New Phytologist* 115, 165-170.
- Oksanen, E., 2003. Responses of selected birch (*Betula pendula* Roth) clones to ozone change over time. *Plant, Cell and Environment* 26, 875-886.
- Pleijel, H., 1999. Marknära ozon – ett hot mot växterna . SNV Rapport 4969.
- Pleijel, H., Danielsson, H. 1997. Growth of 27 herbs and grasses in relation to ozone exposure and plant strategy. *New Phytologist* 135, 361 – 367.
- 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.
- Pleijel, H., Danielsson, H., Vandermeiren, K., Blum, C., Colls, J., Ojanperä, K. 2002. Stomatal conductance and ozone exposure in relation to potato tuber yield  $\overline{\mu}$  results from the European CHIP programme. *European Journal of Agronomy* 17, 303-317.
- Pleijel, H. Danielsson, K. Ojanperä, L. De Temmerman, P. Högy, M. Badiani, P.E. Karlsson. 2004. Relationships between ozone exposure and yield loss in European wheat and potato. A comparison of concentration based and flux based exposure indices. *Atmospheric Environment* 38, 2259-2269.

- Prather M, Gauss M, Berntsen T, Isaksen I, Sundet J, Bey I, Brasseur G, Dentener F, Derwent R, Stevenson D, Grenfell L, Hauglustaine D, Horowitz R, Jacob D, Mickley L, Lawrence M, von Kuhlmann R, Müller J-F, Pitari G, Rogers H, Johnson M, Pyle J, Law K, van Weele M, Wild O (2003) Fresh air in the 21st century? *Geophysical Research Letters* 30: 72-1 – 72-4.
- Pääkkönen, E., Holopainen, T., Kärenlampi, L., 1997. Variation in ozone sensitivity among clones of *Betula pendula* and *Betula pubescens*. *Environmental Pollution* 95, 37-44.
- Samuelsson, H. & Claesson, S. 2003. Konsekvenser av ett förbud mot permetrinbehandling av skogsplantor. Skogsstyrelsen, Meddelande 2 – 2003. ISSN 1100-0295.
- Simmonds, P.G., Derwent, R.G., Manning, A.L., Spain, G. 2004. Significant growth in surface ozone at Mace Head, Ireland, 1987-2003. *Atmospheric Environment* 38, 4769-4778.
- Simpson, D., Ashmore, M., Emberson, L., Tuovinen, J.-P. 2006. A comparison of two different approaches for mapping potential ozone damage to vegetation. A model study. *Environmental Pollution*, accepted for publication March 2006.
- Solberg, S. 2003. Monitoring of boundary layer ozone in Norway from 1977 to 2002. NILU OR 85/2003.
- Solberg, S., Bergström, R., Langner, J., Laurila, T., Lindskog, A. 2005. Changes in Nordic surface ozone episodes due to European emission reductions in the 1990s. *Atmospheric Environment* 39, 197-192.
- Statens Jordbruksverk, 2005. : [www.SJV.se](http://www.SJV.se)
- Sundberg, J., Karlsson, P.E., Schenk, L., Pleijel, H. 2006. Variation in ozone concentration in relation to local climate in south-west Sweden. *Water, Air & Soil Pollution* 173, 339 – 354.
- Sverdrup, H. and I. Stjernquist. (Eds). *Developing principals and models for sustainable forestry in Sweden*. pp. 355–380. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. ISBN 1-4020-0999-2.
- Timonen, U., Huttunen, S. and Manninen, S. 2004. Ozone sensitivity of wild field layer plant species of northern Europe. A review. *Plant Ecology* 172, 27-39.
- Thuresson, T., Bendz-Hellgren, M., Lipponen, K., Solheim, H. & Thomsen, I.M. 1998. The Nordic Countries. Chapter 17, in: Woodward, S., Stenlid, J., Karjalainen, R. & Hüttermann, A. (eds.). *Heterobasidion annosum: Biology, ecology, impact and control*. CAB International, 589 pp. ISBN 0-85199-275-7.
- Tuovinen, J.-P. 2000. Assessing vegetation exposure to ozone: properties of the AOT40 index and modifications by deposition modelling. *Environmental Pollution* 109, 361-372.
- 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.
- Wipfler P, Seifert T, Heerdt C, Werner H, Pretzsch H. 2005. Growth of adult Norway spruce (*Picea abies* [L.] KARST.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) under free-air ozone fumigation. *Plant Biology* 7 (in press)

## Bilagor

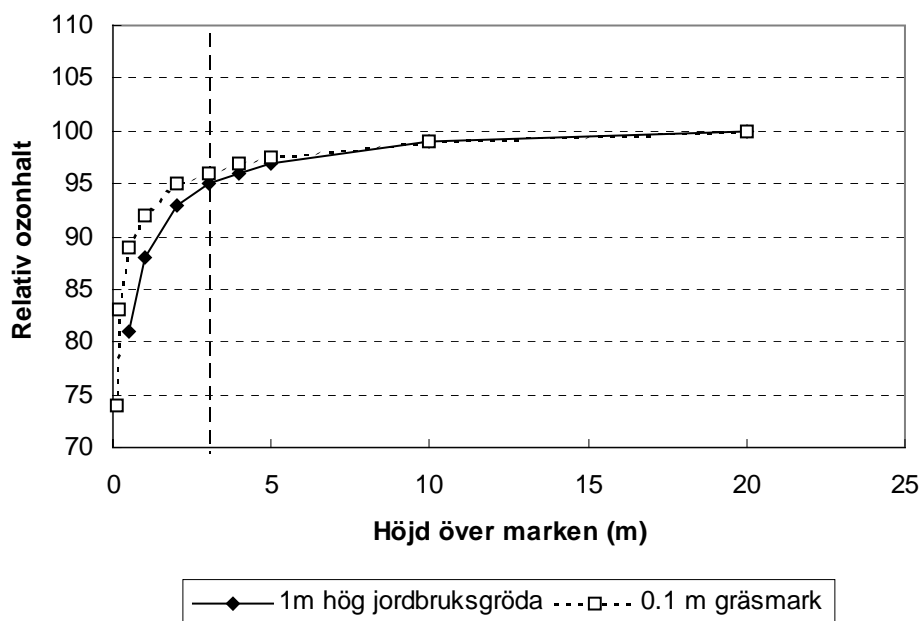
### Bilaga 1 Utvärdering av underlaget för ozonexponering från EMEP modellen

#### Generellt

På grund av depositionen av ozon mot marken med tillhörande växtlighet, avtar ozonkoncentrationerna ju närmare marken man kommer. Särskilt viktigt är detta för ozonhalterna inom tre meter över marknivån, se figur B 1.1. De föreslagna målvärdena avser ozonhalterna vid den vanligaste mätthöjden, vilket är 5 m över marknivå.

De värden för ozonexponering av skogen som erhållits från EMEP gäller 20 m över marknivån. Som synes av Figur B 1.1 är skillnaderna i ozonhalter mellan 5 och 20 m över marken normalt små. Därför har igen omräkning gjorts vid beräkningen av effekterna på skogen vid de olika målvärdena, trots att de föreslagna målvärdena gäller för 5 m över marknivå medan effekterna på skogen beräknas utifrån ozonförekomsten 20 m över marknivå. Detta gör dock att beräkningarna av de maximala effekterna på skogen vid olika målvärden får behandlas med viss försiktighet, se sektion 8.2. Små skillnader i ozonhalter kan i vissa fall medföra relativt stora skillnader i de beräknade värdena för AOT40 (Tuovinen 2000).

Vid beräkningen av ozoneffekter för jordbruksgrödor får gradienten av ozonhalter mot marken större betydelse, eftersom ozonhalterna 1 m över marknivå används för dessa beräkningar. Beräkningarna av effekterna på jordbruksgrödor vid nuvarande och framtida ozonförekomst grundar sig på värden för ozonhalter på 1 m över mark som vi erhållit från EMEP. Vid beräkningarna av effekterna på jordbruksgrödor vid det kort- och långsiktiga målvärdena har vi utifrån statistiska analyser fått översätta dessa värden som gäller 5 m över mark till värden som gäller 1 m över marknivå.



Figur B1.1. En illustration av hur ozonhalterna kan variera med höjden över markytan. Exemplet visar ozonhalter mitt på dagen över ett fält med en 1 m hög jordbruksgröda samt över ett fält med 0.1 m hög gräsmark. Ozonhalterna är modellerade med EMEP modellen för 30 olika lokaler runt om i Europa. Hämtat ifrån LRTAP konventionens "Mapping Manual" ([www.icpmapping.org](http://www.icpmapping.org))

## En utvärdering av EMEP modellerade värden för AOT40 skog 20 m över mark, 1995-2002, jämfört med mätningar på 5 m över mark för samma period.

Nedan följer en detaljerad utvärdering av erhållna modellerade värden för ozonexponeringen av skog, beräknat för 20 m över marknivå, jämfört med uppmätta värden för 5 m över marknivå vid mätstationer som ligger i EMEP rutan i från. Det är viktigt att inse att det beräknade värdet från EMEP modellen gäller hela rutan 50 x 50 km, med all den variation i växtlighet och topografi som rutan innehåller. Variationen i ozonförekomst kan vara betydande på små geografiska avstånd och ozonhalterna vid respektive mätstation representerar således de geografiska förhållande just där den är belägen. Jämförelserna har delats upp beroende på det geografiska läget hos mätstationen, i sin tur grundat på de kategorier som har föreslagits av Karlsson m fl (2004). Jämförelserna illustreras i figur B 1.2.

Lokaler som ligger kustnära eller lokal-topografiskt högt i landskapet.

**Mätstation Vavihill:** Antagit EMEP officiell yta 60\_59.

Jämförelse: Modellerade värden ligger mellan 17 800 och 24 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar. Uppmätta värden ligger mellan 14 800 och 28 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar.

Utvärdering: EMEP modellen underskattar amplituden i variationerna i ozonförekomst för Vavihill, jämfört med uppmätta värden. Detta gäller särskilt ett år med hög ozonförekomst, 2002. En jämförelse med kringliggande ytor uppvisar både högre och lägre modellerade värden.

**Mätstation Rörvik:** Antagit EMEP officiell yta 56\_60.

Jämförelse: Modellerade värden ligger mellan 15 000 och 22 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar. Uppmätta värden ligger mellan 15 000 och 31000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar.

Utvärdering: Modellen underskattar det maximala värdet för Rörvik/Råö för 2002, övriga år överskattar modellen något. Sistnämnda kan hänga samman med att en stor del av EMEP rutan betår av vatten, för vilket ozon har en låg depositions hastighet.

**Mätstation Norra Kvill:** Antagit EMEP officiell yta 57\_63.

Jämförelse: Modellerade värden ligger mellan 10 600 och 17 800  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar. Uppmätta värden ligger mellan 13 400 och 25 600  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar.

Utvärdering: EMEP modellen underskattar generellt jämfört med uppmätta värden. Denna mätstation ligger mycket utsatt, högt över omgivande landskap. Detta förklarar varför modellerade värden understiger uppmätta.

**Mätstation Aspvreten:** Antagit EMEP officiell yta 59\_67.

Jämförelse: Modellerade värden ligger mellan 15 800 och 20 800  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar. Uppmätta värden ligger mellan 8 200 och 31 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar.

Utvärdering: Denna mätstation ligger nära Östersjön. Yta 59\_67 har beräknats som ett medelvärde av ytorna 59\_66 och 59\_68. Båda dessa ytor består till största delen av vatten vilket gör att modellerade värden för rutan förmodligen blir högre jämfört med vad som är representativt över land.

Lokaler som ej ligger kustnära eller lokal-topografiskt lågt i landskapet.

**Mätstation Asa:** Antagit EMEP officiell yta 59\_63.

Jämförelse: Modellerade värden ligger mellan 6 800 och 13 200  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar. Uppmätta värden ligger mellan 7 200 och 19 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar. Mätningar saknas för 1995 och 2002.

Utvärdering: EMEP modellen överskattar värdena för Asa, fr a för åren 1996 och 1997. Detta kan förklaras av lokalens lokal-topografiskt skyddade läge i landskapet.

**Mätstation Prestebakke:** Antagit EMEP officiell yta 53\_62.

Jämförelse: Modellerade värden ligger mellan 12 200 och 18 200  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar. Uppmätta värden ligger mellan 12 400 och 18 800  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar. Jämförelser saknas för 1995 och 1996.

Utvärdering: Bra överensstämmelse i spannet av värden mellan uppmätt och modellerat. För åren 1997 och 1999 övervärderar modellen ozonförkomsten kraftigt. En betydande del av rutan 53\_62 går ut över havet, vilket kanske kan förklara en del av de högre värden som modelleras.

**Mätstation Östad:** Antagit EMEP officiell yta 56\_61.

Jämförelse: Modellerade värden ligger mellan 11 200 och 16 200  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar. Uppmätta värden ligger mellan 5 400 och 8 600  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar. Endast tre år finns tillgängliga för jämförelser, däribland året med hög ozonförekomst 2002.

Utvärdering. EMEP modellen överskattar värdena för Östad. Detta kan förklaras av lokalens lokal-topografiskt skyddade läge i landskapet.

Nordliga lokaler i inlandet.

**Matstation Grimsö:** Antagit EMEP officiell yta 56\_65.

Jämförelse: Modellerade värden ligger mellan 6 600 och 10 400  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar. Uppmätta värden ligger mellan 4 200 och 15 800  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar. Endast åren 2001 och 2002 tillgängliga för jämförelser.

Utvärdering: EMEP modellen undervärderar värdet för Grimsö för ”hög-ozon” året 2002 med ca 30%. Lokalen ligger relativt lokal-topografiskt skyddat i skogslandskapet, vilket således ej förklarar det lägre modellerade värdet..

**Mätstation Vindeln:** Antagit EMEP officiell yta 51\_77.

Jämförelse: Modellerade värden ligger mellan 1 600 och 2 200  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar. Uppmätta värden ligger mellan 4 000 och 9 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar.

Utvärdering: EMEP modellen undervärderar AOT40F för Vindeln med upp till 75%. Modellen förutsäger dock värden mellan 4000-5 600  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar för en närliggande, kustnära ruta (77\_52). Uppmätta värden summeras endast för perioden maj-sep.

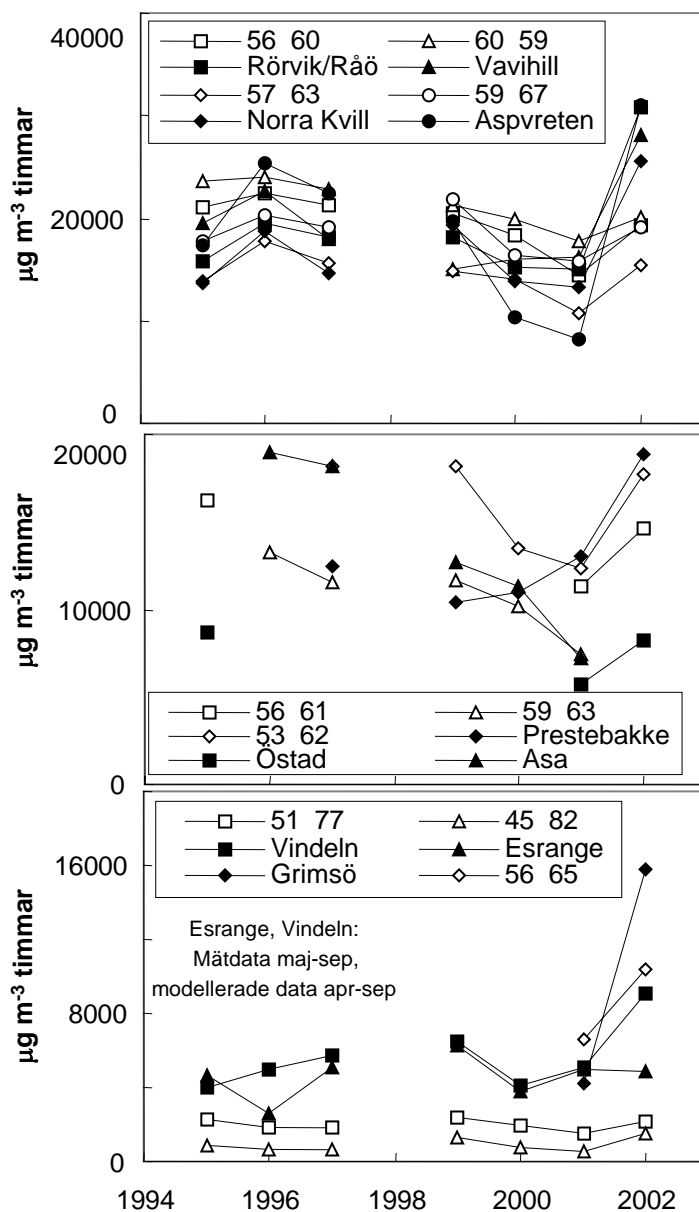
**Mätstation Esrange:** Antagit EMEP officiell yta 45\_82

Jämförelse: Modellerade värden ligger mellan 600 och 1 600  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar. Uppmätta värden ligger mellan 2 600 och 5 000  $\mu\text{g m}^{-3}$  timmar.

Utvärdering: EMEP modellen undervärderar relativt sett kraftigt värdena för Esrange. Här finns inga närliggande ytor där modellen förutsäger högre värden. Uppmätta värden summeras endast för perioden maj-sep.

### Sammanfattning jämförelser för skog

Sammanfattningsvis förutsäger EMEP modellen AOT40 april- september för skog på ett relativt bra sätt över större delen av landet. Vad gäller lokaler som ligger antingen kustnära eller lokal-topografiskt högt i landskapet förmår EMEP modellen inte att simulera variationen i ozonförekomst mellan olika år. I synnerhet förmår inte EMEP modellen att simulera den höga ozonförekomsten 2002. Däremot blir den modellerade ozonförekomsten i medeltal över perioden ungefär den samma som uppmätta värden. För lokaler som ligger lokal-topografiskt lågt belägna i inlandet är variationen i skillnaden mellan modellerade och uppmätta värden stor. Det finns dock ingen klar tendens till att EMEP modellen över- eller underskattar ozonförekomsten. EMEP modellen underskattar ozonförekomsten i norr på ett betydande sätt, trots att modellerade data sträcker sig över perioden april-september, medan uppmätta värden är beräknade över perioden maj-september. Sistnämnda period är mer realistiskt i förhållande till växtperioden. EMEP modellens underskattning av ozonförekomsten visar sig tydligt för Vindeln, men även så långt söderut som Grimsö.



Figur B 1.2. En jämförelse mellan AOT40 för skog beräknat med EMEP modellen och AOT40 beräknat från förekommande kontinuerliga mätningar av ozon runt om i Sverige, för åren 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001 samt 2002. Ozonmätningar sker med luftintag 5 m över marknivå medan EMEP modellen för skog beräknar ozonhalterna 20 m över marknivå. Lokaliseringen av de olika mätlokalerna återfinns i figur 3 i huvudrapporten. A. En jämförelse för Vavihill (EMEP ruta 60\_59), Råö (EMEP ruta 56\_60), Norra Kvill (EMEP ruta 57\_63) samt Aspvreten (EMEP ruta 59\_67). B. En jämförelse för Östad (EMEP ruta 56\_61), Asa (EMEP ruta 59\_63) samt för Prestebakke (EMEP ruta 53\_62). C. En jämförelse för Grimsö (EMEP ruta 56\_65), Vindeln (EMEP ruta 51\_77) och Esrange (EMEP ruta 45\_82)..

## För jordbruksgrödor

AOT40-värden uträknade med uppmätta koncentrationer vid EMEP-stationerna Vavihill, Norra Kvill, Aspvreten, Rörvik/Råö, Grimsö, Vindeln och Esrange som grund har jämförts med AOT40-värden baserade på EMEP-modellens data för de aktuella EMEP-rutorna. Vid denna jämförelse noterades att EMEP-modellen generellt tycks undervärdera AOT40-värdena, framför allt i de norra delarna av Sverige men även till viss del för de mellersta delarna av landet. För att beräkningarna av grödors skördebortfall som presenteras i föreliggande rapport skall nå mer realistisk storleksordning har AOT40-värdena i EMEP-rutor belägna i Norrland multiplicerats med en faktor 4. Motsvarande värden i Svealand har multiplicerats med en faktor 1.5. AOT40 för sydsvenska EMEP-rutor bedöms ligga väl i paritet med uppmätta värden och har således inte korrigerats.

Tabell B 1.1. En jämförelse mellan AOT40-värden uträknade med uppmätta koncentrationer vid EMEP-stationerna Vavihill, Norra Kvill, Aspvreten, Rörvik/Råö, Grimsö, Vindeln och Esrange och AOT40-värden baserade på EMEP-modellens data för de aktuella EMEP-rutorna. Jämförelsen uttrycks som % modellerade värden av uppmätta värden.

	Esrange 45 82	Vindeln 51 77	Grimsö 56 65	Rörvik/Råö ö 56 60	Norra Kvill 57 63	Aspvreten 57 63	Vavihill 60 59
1990		74%		141%	39%	106%	107%
1997	21%	12%		51%	56%	46%	78%
1999	18%	13%		67%	47%	75%	93%
2000	27%	32%		77%	66%	105%	85%
2004	10%	9%	45%	39%	37%	53%	88%



## Bilaga 2. En detaljerad beskrivning av tillvägsångssätt för beräkningar av minskad tillväxt för skog och skördebortfall för jordbruksgrödor samt ekonomiska konsekvenser

Nedan har vi sammanställt alla steg i våra beräkningar. Alla steg grundar sig på EMEP rutan som geografisk upplösning.

### Skog

Tillvägsången för ekonomiska beräkningar av konsekvenserna av ozonets negativa inverkan på skogs tillväxt var som följer:

Uppgifter om markanvändning, uppdelat i barrskog, lövskog samt blandskog hämtades ifrån ASTA databasen och summerades per EMEP ruta. Enhet ha per EMEP ruta.

Uppgifter om trädslagsandel, uppdelat i gran i barrskog, tall i barrskog, björk i lövskog, övrigt löv i lövskog, andel barr i blandskog, andel löv i lövskog, hämtades från ASTA databasen och medelvärdesbildades för EMEP rutor. Enhet %.

Uppgifter om tillväxt, uppdelat i barr, löv, barr i blandskog samt löv i blandskog, hämtades ifrån ASTA databasen och medelvärdesbildades för EMEP rutor. Enhet m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>.

Tillväxten för respektive trädslag vid nuvarande ozonbelastning beräknades för respektive gran, tall, björk samt övrigt löv, utifrån följande funktion:

$$y = (a*b*c/100) + (d*e*f/100*g/100)$$

där y=årlig tillväxt (m<sup>3</sup> sk ha år<sup>-1</sup>), a=tillväxten i sin renodlade kategori, t ex gran i barrskog (m<sup>3</sup> sk ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>), b=förekomsten av den renodlade kategorin, t. ex barrskog (ha), c=den procentuella andelen av trädslaget i den renodlade kategorin, t. ex gran i barrskog (%), d=andelen av kategorin i blandskog, t ex barr i blandskog (fraktion), e=förekomsten av blandskog (ha), f=den procentuella andelen av kategorin i blandskog, t ex barr i blandskog (%), g=den procentuella andelen av trädslaget i kategorin, t ex gran i barrskog (%).

Värden för ozonbelastningen i varje EMEP ruta, räknat som AOT40 för skog, erhöles från EMEP för åren 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001 samt 2002 och medelvärdesbildades över alla år separat för varje EMEP ruta. Ett prognostiserat värde för året 2020 för varje EMEP ruta erhöles även från EMEP.

Medelvärdet av AOT40 multiplicerades med en faktor 2 för alla EMEP rutor belägna i Norrland. Detta gällde även de prognostiserade AOT40 värdena för 2020.

Samband mellan årligt AOT40 och procentuell nedsättning av tillväxten togs fram för gran och björk. Sambandet för gran tillämpades även för tall och sambandet för björk tillämpades även för övrigt löv.

Tillväxten för respektive trädslag i frånvaro av ozonbelastning beräknades för respektive gran, tall, björk samt övrigt löv, utifrån följande funktion:

$$y = h / (100 + (i^*j) / 100)$$

där  $y$  = årlig tillväxt ( $m^3$  sk ha  $år^{-1}$ ),  $h$  = årlig tillväxt vid nuvarande ozonbelastning, se ovan (ha  $år^{-1}$ ),  $i$  = AOT40 (ppb h),  $j$  = riktningskoefficienten för sambandet mellan AOT40 och procentuell nedsättning av tillväxten ( $\%$  (ppb h) $^{-1}$ , negativt värde för minskning av tillväxten).

Tillväxten för respektive trädslag vid ozonbelastningen vid de föreslagna kortsiktiga respektive långsiktiga målvärdena, samt vid det prognostiserade värdet för AOT40 år 2020, beräknades för respektive gran, tall, björk samt övrigt löv, utifrån följande funktion:

$$y = k * ((100 + (i^*j)) / 100)$$

där  $y$  = årlig tillväxt ( $m^3$  sk ha  $år^{-1}$ ),  $k$  = årlig tillväxt i frånvaro av ozonbelastning, se ovan (ha  $år^{-1}$ ),  $i$  = AOT40 (ppb h),  $j$  = riktningskoefficienten för sambandet mellan AOT40 och procentuell nedsättning av tillväxten ( $\%$  (ppb h) $^{-1}$ , negativt värde för minskning av tillväxten).

Tillväxtförändringen, beräknad som ett negativt värde, beräknades genom att tillväxten vid respektive ozonscenario subtraherades med tillväxten i avsaknad av ozonbelastning. Här gjordes även en omvandling från skogskubikmeter ( $m^3$  sk) till kubikmeter fast under bark ( $m^3$  f ub) genom att använda relationen  $0.8 m^3 f ub = 1.0 m^3 sk$ . Enhet  $m^3 f ub$   $år^{-1}$ .

Priser samt kostnader för gallring samt slutavverkning togs fram för respektive sågtimmer och massaved för respektive trädslag, uppdelat i tre regioner. Enhet kr per  $m^3 f ub$ .

Värden för andelen som vid avverkning går till sågtimmer, massaved samt energiproduktion togs fram för respektive region med hjälp av en rapport från Virkesmättnings Rådet, WMR (2005). Andelen av avverkat virke som går till sågtimmer respektive massaved anges i tabell x för respektive trädslag och region.

Det ekonomiska värdet för tillväxtbortfall vid respektive ozonscenario och trädslag beräknades enligt:

$$x = ((l^*m^*n) + (l^*o^*p)) - ((l^*q^*r) - (l^*s^*t)) / 1000000$$

där  $x$  = ekonomiskt värde (MSEK  $år^{-1}$ ),  $l$  = tillväxtförändring orsakade av ozon vid respektive ozonscenario ( $m^3 f ub$   $år^{-1}$ ),  $m$  = andel av tillväxtförändringen som går som sågtimmer (fraktion),  $n$  = pris för sågtimmer fritt vid väg (SEK  $m^{-3} f ub$ ),  $o$  = andel av tillväxtförändringen som går som massaved (fraktion),  $p$  = pris för massaved fritt vid väg (SEK  $m^{-3} f ub$ ),  $q$  = andel av tillväxtförändringen som avverkas vid gallring (fraktion),  $r$  = kostnad för gallring (SEK  $m^{-3} f ub$ ),  $s$  = andel av tillväxtförändringen som avverkas vid slutavverkning (fraktion),  $t$  = kostnad för slutavverkning (SEK  $m^{-3} f ub$ )

Andelen av tillväxtförändringen som avverkas eller skulle ha avverkat vid gallring har för alla trädslag och regioner satts till 0.3 och andelen som går till slutavverkning har satts till 0.7. Andelen av slutavverkat virke som går till sågtimmer respektive massaved anges i tabell x för respektive trädslag och region.

Beräknade värden för EMEP rutor kunde sedan summeras per trädslag eller för alla trädslag, såväl nationellt som för respektive region och län.

## Jordbruksgrödor

Samtliga uppgifter om markanvändning, uppdelat i höstvet, vårvete, råg, höstkorn, vårkorn, havre, rågvete, blandsäd, matpotatis, stärkelsepotatis, samt slätter- och betesvall har hämtats från Statistiska Centralbyråns statistikdatabas och från information från Jordbruksverket och förts in i ASTA-databasen, där fördelat per ASTA-ruta.

Genom att utnyttja uppgifter om ASTA-rutornas longitud och latitud har den EMEP-ruta dessa ingår i fastställts. För varje EMEP-ruta har den odlade ytan för veteproduktion (höstvet + 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<sup>-1</sup>.

Uppgifter om skördarnas storlek per hektar för respektive gröda och år hämtades från Statistiska Centralbyråns databas samt från Jordbruksverket. I de fall då information saknats för en enskild EMEP-ruta har medelvärdet för den aktuella regionen eller information från närliggande EMEP-ruta antagits. Enhet: kg ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>.

Med hjälp av uppgifter om ingående gröders skördestorlek och yta odlad mark per gröda har skörd EMEP-ruta<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> beräknats. Enhet: ton EMEP-ruta<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>.

Med hjälp av uppgifter från EMEP har värden för ozonbelastningen i varje EMEP-ruta, räknat som AOT40 (1m höjd över marken), tagits fram för åren 1990, 1997, 1999, 2000 samt 2004.

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

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

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

För vete och potatis har samma ackumuleringsperiod som den som presenteras i Mapping Manual använts (vete=55 dagar med start dag 182, 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<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>), utifrån följande funktion:

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

där:

y = årlig skörd (ton ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>) vid frånvaro av ozonbelastning,

h = aktuell skörd (ton ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>),

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 kortsiktiga målvärdet, AOT40 = 10 ppm (mätt på 5m höjd för april till september), skördeförlust vid kortsiktiga målvärdet AOT30 = 9 ppm (mätt på 5m höjd för april till

september) samt skördeförlost år 2020 baserat på prognostiserat AOT40, räknades ut. Skördeförlosterna för respektive gröda och samtliga exempelår beräknades (ton ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>), utifrån följande funktion:

$$y = k \cdot (i^j + m)$$

där:

y = årlig skörd (ton ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>) vid aktuell ozonbelastning,  
vid kortsiktiga målvärdet  
vid långsiktiga målvärdet  
vid 2020, prognostiserat AOT40

k = årlig skörd (ton ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>) vid frånvaro av ozonbelastning,

i = AOT40 (ppm h),

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

m = intercept.

Eftersom både det kortsiktiga och det långsiktiga målvärdet samt det prognostiserade AOT40-värdet år 2020, alla anges för perioden april – september, har för beräkningar av skördeförlosterna hänsyn tagits till att samtliga gröders bestämda ackumulationsperioder endast utgör en del av perioden april – september. För varje EMEP-ruta, gröda och år har den procentuella andelen av varje grödas AOT40- och AOT30-värde (mätt på 1 m höjd och summerat för respektive grödas bestämda ackumuleringsperiod) av det totala AOT40- respektive AOT30-värdet för april – september och mätt på 5 m höjd, räknats ut. Med denna information som grund har för varje EMEP-ruta, gröda och år andelen av det kortsiktiga (AOT40 10 ppm h, april – september) och det långsiktiga målvärdet (AOT30 9 ppm h, april – september) samt det prognostiserade AOT40 år 2020 som ryms inom respektive grödas ackumuleringsperiod räknats fram. Detta AOT40- respektive AOT30-värde används sedan vid skördeförlostberäkningarna. Eftersom både halterna och förekomstmönstret av ozon skiljer sig mellan åren kan man betrakta de fem i studien ingående åren som representanter för olika ”typår”. De beräknade skördeförlosterna vid de olika ozonscenarierna varierar därför beroende på vilket av åren som används som ”typår”.

Samtliga grödor prissattes och deras beräknade skördeförloster fördelades per användningsområde för samtliga ozonscenarier.

Det ekonomiska värdet av skördeförlost beroende på nuvarande ozonbelastning, vid kortsiktiga målvärdet, vid långsiktiga målvärdet samt vid prognostiserat AOT40 år 2020 beräknades enligt:

$$x = (l \cdot m \cdot n)$$

där x = ekonomiskt förlust (SEK ton<sup>-1</sup>, år),

l = skördeförlost orsakade av ozon vid respektive ozonscenario (ton år<sup>-1</sup>),

m = andel per användningsområde (%).

n = genomsnittspris (SEK).

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

## Bilaga 3. 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 3.1). 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.3.2.

Tabell B 3.1. Priser och kostnader. Priser från 2004, kostnader från 2003. Uppdelat på regioner.

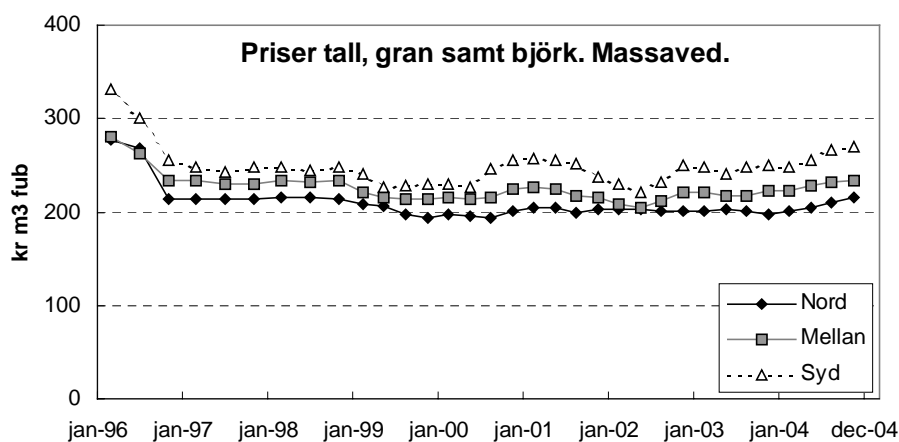
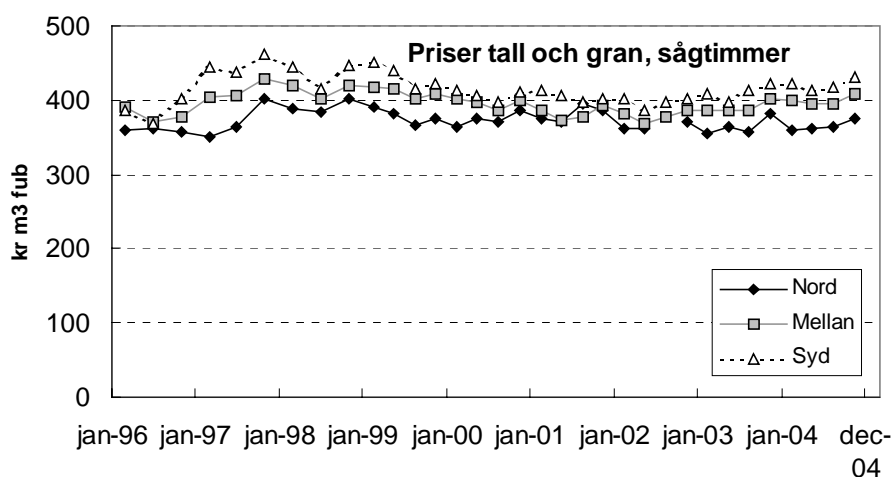
Genomsnittspriser på leveransvirke vid bilväg.	kr per m <sup>3</sup> f ub		
	Nord	Mellan	Syd
Sågtimmer av gran.	331	394	425
Massaved av gran.	210	238	260
Sågtimmer av tall.	397	403	409
Massaved av tall.	200	214	255
Sågtimmer av björk. *		403	409
Massaved av björk.	202	219	252
Sågtimmer av övr löv. **		403	600
Massaved av övr löv.	202	219	252
<b>Drivningskostnader, gallring</b>			
Alla trädslag och regioner	115	131	145
<b>Drivningskostnader, slutavverkning</b>			
Alla trädslag och regioner	72	65	69

\* Prisuppgifter för sågtimmer av björk satt lika med tall.

\*\* Sågtimmer övr löv för Götaland, uppskattning från Mattias Oskarsson, Säg i Syd, spann 300 - 1500 kr per m<sup>3</sup>f ub, beroende på kvalitet.

Tabell B 3.2. Andelar av avverkat virke som går som sågtimmer respektive massaved för olika trädslag och regioner. Uppgifter gäller för åren 2000-2004. Från WMR 2005.

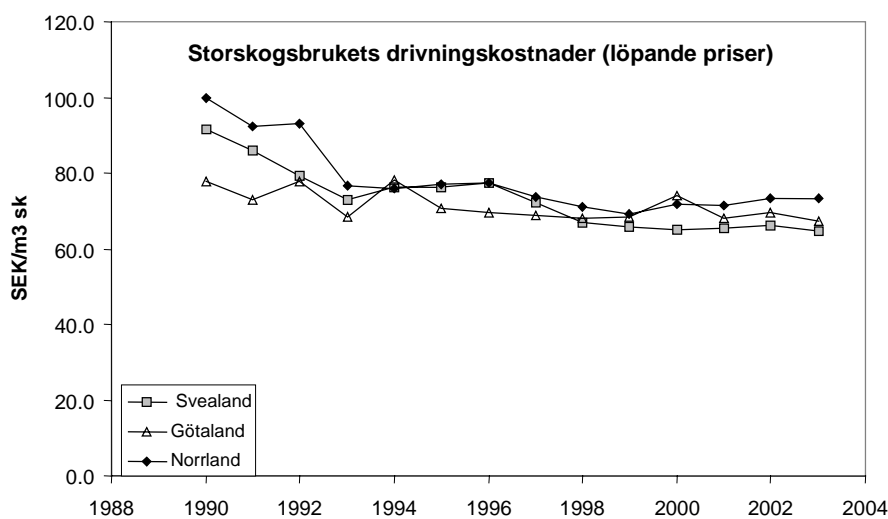
		Norrland	Svealand	Götaland
Gran	Sågtimmer	0.51	0.54	0.65
	Massaved	0.49	0.46	0.35
Tall	Sågtimmer	0.60	0.50	0.65
	Massaved	0.40	0.50	0.35
Björk	Sågtimmer	0.00	0.02	0.01
	Massaved	1.00	0.98	0.99
Övr. Löv	Sågtimmer	0.00	0.05	0.21
	Massaved	1.00	0.95	0.79



Figur B 3.1 Sågtimmer och massaved. Genomsnittspriser på leveransvirke vid bilväg.

## Drivningskostnader

Uppgifter om drivningskostnader har hämtats från Skogsstyrelsens hemsida (Tabell B 3.1). 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 3.1). Vid beräkning av total drivningskostnad för den förändrade avverkningsvolymen antas att 30% av volymen tas ut i gallring och 70% i slutavverkning.



Figur B 3.2. Storskogsbrukets drivningskostnader (löpande priser), kronor per kubikmeter fast under bark (m<sup>3</sup> fub).