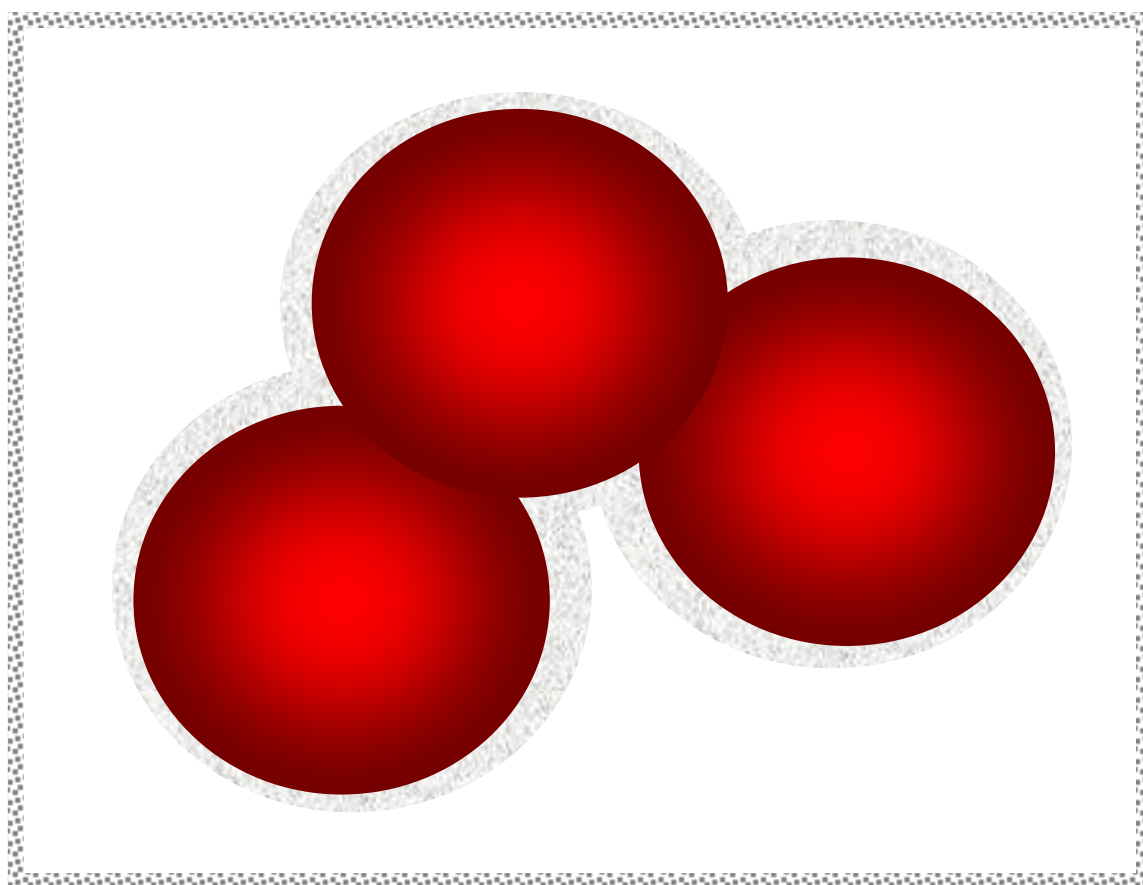




Länsstyrelsen i Jönköpings län

Övervakning av marknära ozon i Jönköpings län 2002-2004

Resultat av mätningar med passiva ozonprovtagare under
åren 2002-2004





■ Övervakning av marknära ozon i Jönköpings län 2002-2004

Resultat av mätningar med passiva ozonprovtagare under åren 2002-2004

Länsstyrelsen i Jönköpings län

Jafet Andersson, *S.D.G*

Författare	Jafet Andersson, <i>S.D.G.</i> Den allmänna texten är hämtad från Jaldemark (1999)
Meddelande	nr 2005:32
Kontaktperson	Bernhard Jaldemark, Länsstyrelsen i Jönköpings län, Direkttelefon 036-395054, e-post bernhard.jaldemark@f.lst.se
Beställningsadress	Länsstyrelsen i Jönköpings län, Samhällsbyggnadsavd., 551 86 Jönköping Telefon 036-39 50 00 (vx)
Webbplats	www.f.lst.se
Figurer & Illustration	Jafet Andersson
Kartmaterial	© Lantmäteriet 2005. Ur GSD-Översiktskartan ärende 106-2004/188F
ISSN	1101-9425
ISRN	LSTY-F-M—05/32--SE
Upplaga	50 ex.
Tryckt på	Länsstyrelsen, Jönköping 2005
Miljö och återvinning	Rapporten är tryckt på Svanenmärkt papper och omslaget består av PET-plast, kartong, bomullsväv och miljömärkt lim. Vid återvinning tas omslaget bort och sorteras som brännbart avfall, rapportsidorna sorteras som papper

© Länsstyrelsen i Jönköpings län 2005

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
1. Inledning	6
2. Marknära ozon	7
2.1 Ozonet som gör nytta och skada	7
2.2 Bildningen av marknära ozon	7
2.3 Halter av marknära ozon	8
3. Effekter av marknära ozon.....	9
3.1 Effekter på vegetation.....	9
3.2 Effekter på människors hälsa	9
4. Riktlinjer, konventioner, direktiv, normer och mål beträffande marknära ozon	10
5. Metod.....	12
5.1 Allmänt om mätningarna och lokalerna.....	12
5.2 Mätmetod	13
6. Resultat och diskussion	14
6.1 Marknära ozonhalter över tiden.....	14
6.2 Medelvärden över sommarhalvåret.....	15
6.3 Samstämmighet mellan stationerna	16
6.4 Säsongscykel	17
6.5 Länets halter och gällande gränsvärden	17
6.5.1 Vegetation	17
6.5.2 Människors hälsa	20
6.6 Bidragande orsaker till bildningen av marknära ozon	21
7. Slutsatser	23
8. Referenser.....	24

Sammanfattning

Marknära ozon mäts i Jönköpings län sedan 1993 i syfte att värdera länet gentemot gällande regler till skydd för vegetation och människors hälsa som kan ta skada vid höga halter. Denna rapport redovisar framför allt resultat under perioden 2002-2004. Under dessa år har mätningar utförts vid två stationer sommartid och två stationer året runt med hjälp av passiva provtagare med en månatlig exponeringstid.

Gällande riktlinjer, konvention, EG direktiv, miljökvalitetsnormer samt miljömål specificerar gränsvärden baserat på timmedelvärden. Eftersom stora timvariationer i ozonkoncentration finns kan inte länets månatliga mätningar jämföras på ett tillfredställande sätt gentemot dessa.

Länets ozonhalter fluktuerar i en regelbunden cykel på årsbasis och har varken ökat eller minskat signifikant under perioden 1996-2004. Typiska halter för sommar respektive vinterhalvår är $60-90\mu\text{g m}^{-3}$ samt $20-60\mu\text{g m}^{-3}$ mätt som månadsmedelvärde. Halten där risk finns för skada på människors hälsa ($120\mu\text{g m}^{-3}$) överskrids sällan medan gränsvärdet för skada på växtlighet ($80\mu\text{g m}^{-3}$) överskrids regelbundet speciellt under april-juni. Om den relativt konstanta flerårstrenden håller i sig blir det svårt att nå generationsmålet rörande marknära ozon. Länets stationer skiljer sig inte signifikant åt ($p < 0,001$) utan visar istället på stor samstämmighet och därmed en övergripande länsituation snarare än lokal rumslig variation beträffande ozonhalter.

Eftersom mätningarna i länet inte utförs med tillräcklig tidsupplösning för att kunna

värderas gentemot gällande gränsvärden uppskattades länets förhållande till normerna beträffande människors hälsa samt vegetation med hjälp av den kontinuerligt ozonmätande stationen Norra Kvill som korrelerar mycket väl (R^2 0,63-0,88) med samtliga länets stationer i fråga om månadsmedelhalter. Dessa beräkningar indikerar att länet med råge når de gränsvärden som ramdirektivet för luftkvalitet sätter mellan 2010-2020 beträffande skada på vegetation, men att det fortfarande är en bit kvar till att nå FN konventionen och miljökvalitetsnormen som börjar gälla 2020. Beträffande människors hälsa indikerar beräkningarna att länet erfar en trend av ökande antal dagar då den kritiska nivån där människors hälsa kan ta skada överskrids. Detta går i rakt motsatt riktning mot takdirektivet även fast gränserna satta i ramdirektivet inte nås ännu. Dessutom tycks ramdirektivets långtidsmål, miljökvalitetsnormen och miljömålet väldigt långt borta med den ökande trenden.

Beträffande bidragande orsaker till bildandet av marknära ozon i länet observerades en svag korrelation mellan kvävedioxid och ozonhalt. Antalet soltimmar däremot visar på en variabel och komplicerad koppling till ozonhalt. Signifikanta korrelationer ($p < 0,05$) observerades vid stationerna Bordsjö och Fagerhult där ozonhalt mäts året runt vilket tycks tyda på att solljuset är mer begränsande under vinterhalvåret än sommarhalvåret.

1. Inledning

Marknära ozon och andra atmosfäriska oxidanter är ett miljöproblem som under 90-talet börjat uppmärksammas i större omfattning i Sverige. Tillsammans med andra luftföroreningar utgör marknära ozon ett hot mot människor, djur och växter och därmed ett hot mot den biologiska mångfalden. Huvuddelen av det marknära ozon som drabbar Sverige kommer med vindarna från den europeiska kontinenten. Ozon bildas genom kemiska reaktioner mellan flyktiga organiska ämnen (VOC) och kväveoxider. Trafiken är den största enskilda utsläppskällan vad det gäller bildning av marknära ozon.

Mätningar av marknära ozon har pågått sedan början av 1990-talet i Jönköpings län. Jönköpings kommun har utfört mätningar av marknära ozon i Jönköpings tätort under 1990-1992. Mätningarna visade att gränsvärdena för både episoder och halvårsmedelvärde överskridits. Från och med 1993 flyttades

mätutrustningen till en flyttbar container för att kunna mäta halterna av marknära ozon på gatunivå. I regional (läns-) regi inleddes ozonmätningar med det s.k. klöverprojektet 1992-94 (Pihl Karlsson et al., 1992). Som en del av denna studie började man mäta marknära ozon vid Riddersberg, utanför Jönköping med passiva ozonprovtagare.

Föreliggande rapport behandlar utförda mätningar av marknära ozon med hjälp av passiva provtagare med tonvikt på perioden 2002-2004. Syftet med rapporten är att ge en sammanställning av utförda mätningar av marknära ozon i länet samt att göra en bedömning av halterna i förhållanden till de riktvärden som ställts upp till skydd för människans hälsa samt vegetation.

2. Marknära ozon

Ozonet har en karaktäristisk lukt som lätt kan urskiljas. Grekiskans $ο'ζο$ betyder ”lukta”. Luktgränsen är runt $50 \mu\text{g m}^{-3}$.

2.1 Ozonet som gör nytta och skada

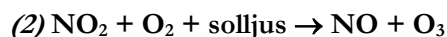
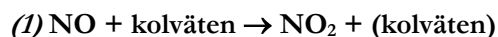
Det stratosfäriska ozonet som finns 10-40 km ovanför markytan skyddar jorden från skadlig UVB-strålning, det är detta skikt som i folkmun kallas ozonskiktet. Atmosfären består av ett stort antal gaser, främst kväve, syre, argon, koloxid, koldioxid, kväveoxider och ozon. Av alla dessa gaser är det bara ozonet som nämnvärt kan absorbera den skadliga UVB-strålningen. I takt med att ozonskiktet tunnare ut minskar skyddet, och halten av UVB-strålning som når jordytan ökar med bl.a. ett ökat antal hudcancerfall, växtskador och klimatförändringar som följd. Uttunnningen ger upphov till s.k. ozonhål.

Det troposfäriska ozonet även kallat marknära ozon, finns upp till 10 km ovanför jordytan och omfattar ca 10 % av allt ozon. I troposfären har ozonhalten ökat med 10 % per årtionde de senaste 20 åren. Det är också viktigt att hålla reda på att ozon ger ett visst bidrag till växthuseffekten (Naturvårdsverket, 1993).

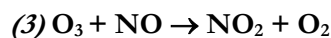
2.2 Bildningen av marknära ozon

Ozon är en sekundär luftförorening, vilket innebär att ozon bildas genom kemiska reaktioner mellan andra luftföroreningar: kväveoxider och kolväten (s.k. källgaser). Dessa reaktioner sker vid solbelysta förhållanden och påskyndas vid temperaturer över 20°C . För

att förhöjda halter av ozon skall bildas krävs förutom kväveoxider även kolväten, som under en rad reaktioner oxideras i atmosfären och omvandlar kväveoxid till kvävedioxid utan att förbruka ozon (*reaktion 1*). Solljus sönderdelar kvävedioxid till kväveoxid och en fri syreatom. Den fria syreatomen reagerar då med syrgas och bildar ozon (*reaktion 2*).



Ozonet reagerar snabbt med kväveoxid och återbildar kvävedioxid och syrgas (*reaktion 3*).



För att ozon ska anrikas krävs förekomst av kolväten. Kolvätena påverkar reaktionerna ovan genom att mycket reaktiva typer av kolväten (kolväteradikaler) reagerar med kvävemoxid och skapar kvävedioxid utan att något ozon förbrukas. Det är denna mekanism som ger tillskott av marknära ozon.

Den största enskilda källan till utsläpp av kväveoxider och flyktiga organiska kolväten (VOC) är bilavgaser. Energiproduktion och industriella processer är andra stora utsläppskällor till kväveoxider. Andra källor till utsläpp av kolväten är vedeldning, petrokemisk industri, raffinaderier samt lackeringsverkstäder. I Jönköpings län är småskalig vedeldning och vägtrafiken de största källorna till utsläpp av VOC (Jaldemark, 1999). Ozonet är också självt tillräckligt långlivat i atmosfären för att kunna färdas långa sträckor med luftströmmarna. Merparten av ozonet förs därför hit från kontinenten.

FAKTARUTA VOC

Flyktiga organiska ämnen är ett samlingsnamn för många ämnen med olika kemiska egenskaper. De brukar betecknas VOC (Volatile Organic Compounds). VOC förekommer bland annat i lösningsmedel, lacker och bensen. Aromatiska VOC och klorerade VOC reagerar tämligen lätt med andra ämnen och är därför mer skadliga för hälsa och miljö. Exempel på aromatiska VOC är toluen, xylen och bensen. Till de klorerade VOC hör bl a trikloretylen och metylenklorid.

Ett flertal VOC är cancerframkallande, skadar arvmassan, ger nervskador och/eller ger allergier. Mer än hälften av utskäppen av VOC kommer från trafiken. Bilavgaser innehåller tusentals olika VOC, bland annat alkenar och aromater. Alkenerna kan ge skador på arvmassan och beräknas orsaka omkring 300 cancerfall per år i Sverige. Bland aromaterna kan nämnas bensen som är direkt cancerframkallande. Bilavgaser och bensenhantering är de största källorna till bensen i omgivningsluft.

2.3 Halter av marknära ozon

Ozonhalterna är oftast lägre i anslutning till större vägar och tätorter i och med att de höga kväveoxidhalterna från biltrafiken bryter ned ozonet (*jfr reaktion 3*). Kväveoxider och kolväten transporteras med vindarna ut på landsbygden och utsätts för solljus vil-

ket leder till bildning av ozon (*jfr reaktion 1 och 2*). Detta förklarar varför ozonhalterna är högre på landsbygden än i tätorterna.

Regelbundet uppstår episoder, timmar eller dagar, med skadliga halter samtidigt som bakgrundshalten långsiktigt ökar utanför tätorten. Bakgrundshalten av marknära ozon uppgår idag till ett årsmedelvärde på 60-70 $\mu\text{g m}^{-3}$ vilket kan jämföras med halter på 20-30 $\mu\text{g m}^{-3}$ i slutet av 1800-talet.

Bildningen av fotokemiska oxidanter är främst ett storskaligt fenomen som beror på utsläpp över större geografiska områden, men ozon bildas även lokalt och ger ett tillskott till oxidanthalten. Koncentrationerna av fotokemiska oxidanter är i allmänhet högst under den ljusa delen av året, särskilt vid högtrycks-situationer med soligt och varmt väder. De högsta halterna av ozon i Sverige uppmätts när förorenad luft transporteras hit från kontinenten vid stabila högtryck. Ozonepisoder kan även inträffa vid frontpassager då ozon från den fria troposfären eller stratosfären transporteras ned mot markytan. Sådana episoder förekommer inte lika ofta som de fotokemiska. Episoder med höga ozonhalter redovisas som antalet timmar då ozonhalten överskrider en viss gräns. I södra och mellersta Sverige överskrider ozonhalten 120 $\mu\text{g m}^{-3}$ flera gånger om året.

3. Effekter av marknära ozon

3.1 Effekter på vegetation

Ozon är en starkt reaktiv gas som kan skada känslig vegetation redan vid halter som inte är mycket högre än den naturliga, förindustriella nivån. Försök visar att växter som utsätts för ozon drabbas av störd fotosyntes och försämrad tillväxt. Ozonet kan i vissa fall även påverka växtens koldioxidupptag och vattenavgivning. En del växter exempelvis klöver och spenat är känsliga även för korta ozonepisoder, som kan leda till att bladvävnaden fläckvis dör (nekros). Det var denna reaktion som kunde utnyttjas i det så kallade "Klöverprojektet" (Naturvårdsverket, 1993). De genomsnittliga ozonkoncentrationer som uppmäts i dag tycks exempelvis vara fullt tillräckliga för att försämra tillväxten hos flera viktiga jordbruksgrödor såsom vete, potatis, vallväxter.

En genomsnittshalt på $50 \mu\text{g m}^{-3}$ dagtid under sommarhalvåret brukar räknas som en övre gräns för hur mycket ozon känsliga grödor tål utan att påverkas, men de nutida sommarhalterna ligger i genomsnitt kring $60\text{--}70 \mu\text{g m}^{-3}$ i norra Sverige och kring $80 \mu\text{g m}^{-3}$ i Syd- och Mellansverige (dvs. Jönköpings län). Vissa växter, däribland klöver, kan också fara illa av att ozonhalten tillfälligt blir betydligt högre än genomsnittet, trots att dessa episoder brukar vara tämligen kortvariga.

Inom jordbruket beräknas produktionsbortfallet orsakat av ozonskador till 7 % på vårvetet, som är det känsligaste spannmålet (Naturvårdsverket, 1997). Produktionsbortfall p.g.a. ozonskador för det svenska jordbruket har värderats till minst en miljard kro-

nor per år. Av detta står skador på vallodling för en betydande del.

Även barrträden påverkas av ozon. Effekten av för höga ozonhalter kan beskrivas som att barren åldras i förtid. Till en början kan ozonpåverkan leda till en förbättrad fotosyntes hos unga barr, men de dör också tidigare. Detta leder till att träd som är ozonpåverkade har färre generationer barr än de träd som inte är påverkade av ozon och därmed också uttunnade kronor och grenar. De ekonomiska förlusterna i skogsbruket till följd av ozonpåverkan är inte kända.



Figur 1. Glanshägg (*Prunus serotina*) vid 0% respektive 12,3% skada. Källa: Innes, Skelly, Schaub - Ozon, Laubholz- und Krautpflanzen, ISBN 3-258-06384-2, Copyright Haupt Verlag AG / Switzerland.

3.2 Effekter på människors hälsa

Under episoder med mycket höga ozonhalter kan ozon också påverka människans hälsa genom sin förmåga att irritera slemhinnor och lungor. Irritation på andningsvägarna uppstår vid halter överstigande $240 \mu\text{g m}^{-3}$. I Sverige blir ozonhalten praktiskt taget aldrig så hög att friska människor tar skada. Astmatiker och lungsjuka är däremot extra känsliga och får ofta symptom som kan relateras till O_3 . Av det ozon man andas in tas ca 90 % upp av lungorna och orsakar en inflammation i slemhinnorna som gör dem känsliga för ytt-

re påverkan. Ungefär tio procent av befolkningen har nedsatt andningsfunktion till följd detta, och den gruppen kan drabbas av påtagliga besvär även vid de halter kring $150 \mu\text{g m}^{-3}$ som tidvis förekommer under ozonepisoder i landets sydligare delar. Barn och ungdomar får störd lungfunktion efter sex timmar med ozonhalter över $160 \mu\text{g m}^{-3}$ (Naturvårdsverket, 1997). Förhöjda halter av marknära ozon

kan även förvärra allergiska symptom och gör även att människor lättare utvecklar allergi (Naturvårdsverket, 1993).

Ozon påskyndar därtill nedbrytningen av vissa organiska material såsom gummi och plaster, och ämnet hör också till de växthusgaser som kan inverka på jordens klimat.

4. Riktlinjer, konvention, direktiv, normer och mål beträffande marknära ozon

Under senare delen av 1900-talet har allt mer stringenta gränsvärden till skydd för material, vegetation och människors hälsa utarbetats inom ramen för FN, Världshälsoorganisatio-

nen (WHO), Europeiska gemenskapen (EG) och i svensk lagstiftning. De nu gällande värdena presenteras i Tabell 1.

Tabell 1. Riktlinjer, konvention, direktiv, normer och mål beträffande marknära ozon.

Typ av värde	Definition	Referens
Världshälsoorganisationens (WHO) riktlinjer för Europa	Akuta effekter på allmänhetens hälsa är sannolikt små vid $120 \mu\text{g m}^{-3}$ i omgivande luft under maximalt 8h per dag.	World Health Organisation (2000)
FN:s konvention LRTAP [†] till skydd för grödor	Områden där den kritiska nivån av $\text{AOT}_{40}^{\dagger} > 6000 \mu\text{g m}^{-3}\text{h}$ från maj-juli under dygnets ljusa timmar erfar risk för skada.	UNECE (1999)
FN:s konvention LRTAP [†] skydd för människans hälsa	$120 \mu\text{g m}^{-3}$ beräknat som det högsta 8h medelvärdet under en 24h period.	UNECE (1999)
Ramdirektivet för luftkvalitet (2002/3/EG)		
Skydd för vegetation fr.o.m. 2010	Skall eftersträvas varhelst möjligt fr.o.m. 2001: $\text{AOT}_{40}^{\dagger} < 1800 \mu\text{g m}^{-3}\text{h}$ (1h värden från maj-juli 08:00-20:00) i snitt över en femårsperiod	The European Parliament and the Council of the European Union (2002)
Skydd för människans hälsa fr.o.m. 2010	Skall eftersträvas varhelst möjligt efter 2009: inte överskrida $120 \mu\text{g m}^{-3} > 25$ dagar/år (mätt som det högsta 8h medelvärdet under en 24h period) i snitt över en treårsperiod	The European Parliament and the Council of the European Union (2002)
Skydd för vegetation på lång sikt	$\text{AOT}_{40}^{\dagger} < 6000 \mu\text{g m}^{-3}\text{h}$. Mätt som 1h värden från maj-juli 08:00-20:00.	The European Parliament and the Council of the European Union (2002)
Skydd för människors hälsa på lång sikt	Högsta 8h medelvärde under ett dygn $< 120 \mu\text{g m}^{-3}$	The European Parliament and the Council of the European Union (2002)
Fräns för skyldighet att informera	$180 \mu\text{g m}^{-3}$ mätt som timmedelvärde	The European Parliament and the Council of the European Union (2002)

Gräns för skyldighet att varna	240 $\mu\text{g m}^{-3}$ mätt som timmedelvärde	The European Parliament and the Council of the European Union (2002)
--------------------------------	---	--

Takdirektivet (2001/81/EG)

Delmiljömål för människans hälsa	Minska tiden som kritiska nivå för människors hälsa överskrider med 2/3 från 1990 jämfört med 2010. Ej överskrida WHO:s riktlinjer >20 dagar per år.	Europaparlamentet och Europeiska unionens råd (2001)
----------------------------------	--	--

Delmiljömål för vegetation	Minska tiden som kritiska nivå för vegetation överskrider med 1/3 från 1990 jämfört med 2010.	Europaparlamentet och Europeiska unionens råd (2001)
----------------------------	---	--

Miljökvalitetsnorm 2001:527 för människans hälsa	Inte överskrida 120 $\mu\text{g m}^{-3}$ (mätt som det högsta 8h medelvärdet under en 24h period). Skall eftersträvas efter 31 december, 2009.	Sveriges Riksdag (2001)
--	--	-------------------------

Miljökvalitetsnorm 2001:527 för växtlighet	AOT40 [†] < 18000 $\mu\text{g m}^{-3}\cdot\text{h}$ (1h värden från maj-juli 8:00-20:00) i snitt över en femårsperiod. Skall eftersträvas 2010-2019	Sveriges Riksdag (2001)
--	--	-------------------------

	AOT40 [†] < 6000 $\mu\text{g m}^{-3}\cdot\text{h}$. Mätt som 1h värden från maj-juli 8:00-20:00. Skall eftersträvas efter 31 december, 2019.	Sveriges Riksdag (2001)
--	--	-------------------------

Sveriges miljömål	Halten marknära ozon skall inte överskrida 120 $\mu\text{g m}^{-3}$ som 8h-medelvärde år 2010.	miljomal.nu
-------------------	--	-------------

Sveriges generationsmiljömål	Halterna 80 $\mu\text{g m}^{-3}$ mätt som timmedelvärde, 70 $\mu\text{g m}^{-3}$ som 8h-medelvärde och 50 $\mu\text{g m}^{-3}$ april-oktober bör inte överskridas	miljomal.nu
------------------------------	---	-------------

† AOT står för ”Accumulated exposure Over Threshold” (ackumulerad exponering över tröskelvärde). Slut-siffra 40 anger tröskelvärdet 40ppb vilket motsvarar ca. 80 $\mu\text{g m}^{-3}$. Värdet beräknas genom att den del av varje timmedelvärde under dygnets ljusa timmar (definierade som 08:00-20:00 centraleuropeisk tid i ramdirektivet) som överstiger tröskelvärdet summeras över den specificerade tiden.

‡ LRTAP står för The 1979 Geneva Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution vars 3e dotterprotokoll behandlat marknära ozon 1999.

5. Metod

5.1 Mätstationer

Länsstyrelsen har i samverkan med Jönköpings läns Luftvårdsförbund och länets kommuner bedrivit mätningar av marknära ozon sedan 1993. Mätningar med passiva ozonprovtagare har pågått under somrarna 1993-2004. Mätningarna ingick till en början som en del av "Klöver Sverige studien", som var ett nationellt samarbetsprojekt med klöver som bioindikator för marknära ozon (Pihl Karlsson et al. 1992, 1993 och 1995). Syftet med ozonmätningarna var att kartlägga länets bakgrundshalter av marknära ozon utanför tätorten.

Under somrarna 1992-1994 pågick ett försök med odling av ozonkänsligt klöver för att få en indikation på om höga ozonhalter förekommer i Jönköpings län. Odling av klöver har skett vid en lokal, Riddersberg, i nordöstra delen av länet.

Som en del i "Klöver Sverige studien" började man under sommaren 1993 att mäta marknära ozon utanför tätortsmiljön med passiva ozonprovtagare. Mätningarna pågick i fyra veckor vid Riddersberg i Jönköping kommun (klöverlokal), diffusionsprovtagaren byttes varje vecka.

Sommaren 1994 mättes halterna av marknära ozon förutom vid Riddersberg även vid Store Mosse Nationalpark i Värnamo kommun. Mätningen pågick från maj till september vid de båda lokalerna, diffusionsprovtagarna byttes varannan vecka.

Under sommaren 1995 utökades antalet lokaler till tre. Förutom de två tidigare loka-

erna mättes även ozonhalten några kilometer norr om Store Mosse vid Vissebo i Vaggeryds kommun, för att verifiera de mycket höga ozonhalterna som uppmätts på Store Mosse föregående år. Mätningarna med passiva ozonprovtagare pågick från juni till september under sommaren 1995. Vid Riddersberg och Svänö byttes diffusionsprovtagarna varannan vecka och vid Vissebo en gång i månaden.

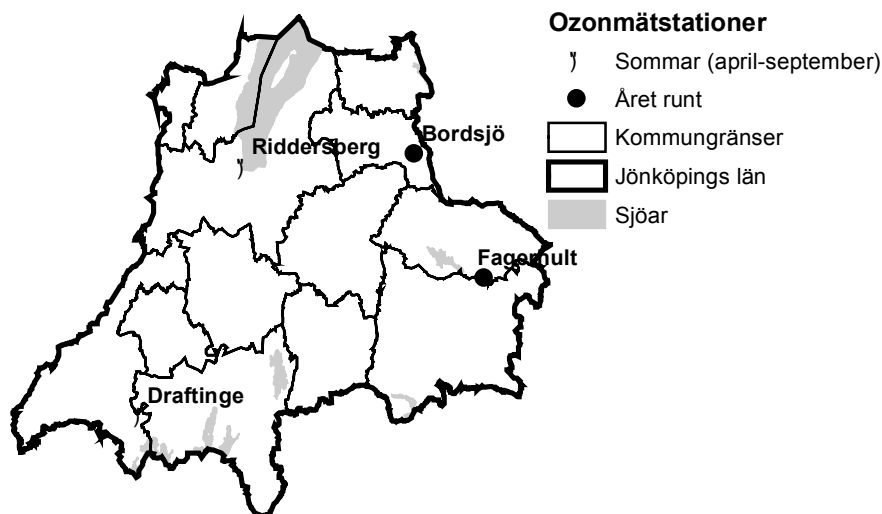
Från och med 1996 fanns fyra stationer med en provtagningsfrekvens med 1 gång per månad under perioden 1 april – 30 september. Stationerna var förutom Riddersberg och Store Mosse även Draftinge (Gislaveds kommun) och Trollebo (Vetlanda kommun). Från och med 1997 skedde ytterligare en mätning (frekvens 1 gång/månad hela året) vid den skogliga provytan i Bordsjö, (Aneby kommun). Denna mätning har skett i Luftvårdsförbundets regi. Mätningar har även skett under vinterhalvåret 1995-96 till 1997-98 i 15 av länets tätorter.

Resultat av mätningar under år 1993 – 2001 visade inga större skillnader mellan halter av marknära ozon i länets stationer: det var samma typvariationer från år till år. På grund av detta avslutades mätningarna på följande stationer: Store Mosse, Trollebo och Bordsjö samt ett antal tätortstationer.

Från och med år 2002 finns följande stationer kvar: Riddersberg och Draftinge samt Fagerhult. Fagerhult är en av Naturvårdsverkets tio intensivytor för övervakning av deposition till skog där månatliga helårsmätningar av ozon började i november år 2000. Tabell 2 och Figur 2 visar metadata om stationerna.

Tabell 2. Stationer för mätningar av marknära ozon i Jönköpings län.

Station	X-koordinat	Y-koordinat	Start	Period	Mättillfällen/år	Frekvens
Draftinge	633630	137205	apr-96	Sommar (april-september)	6	månad
Riddersberg	640876	140225	jun-93	Sommar (april-september)	6	månad
Fagerhult	637633	147229	nov-01	Året runt	12	månad
Bordsjö	641258	145181	feb-96	Året runt	12	månad



Figur 2. Stationer för mätningar av marknära ozon i Jönköpings län. Karta: Henrik Jansson

På ett fåtal ställen i Sverige pågår kontinuerliga mätningar av ozonhalten i marknära luftskikt, inom ramen för Naturvårdsverkets miljöövervakning. En närliggande station ligger i Norra Kvill (6409500, 1485600 i Vimmerby kommun, Kalmar län) vars värden kan jämföras med undersökningar i länet. Norra Kvill valdes ut på grund av dess närhet till länet och likartade placering beträffande temperaturinversioner jämfört med länets mätstationer. Mätresultaten sammanställs timme för timme av Institutet för vatten- och luftvårdsforskning (IVL) som utfört samtliga laborationsanalyser.

Provtagningen av marknära ozon vid Riddersberg har t. o. m. 1996 skötts av Länsstyrelsens personal och Jan-Olof Storm, SLU:s försöksstation vid Riddersberg. Från 1997 sköts denna provtagning av Jönköpings kommun. Provtagningen vid Draftinge har tidigare genomförts av länsstyrelsens personal men provtas sedan 2003 av Lars-Gunnar Almgren, Draftingen. Observationsytorna vid Bordsjö och Fagerhult provtas i Luftvårdsförbundet regi.

5.2 Mätmetod

Mätningen med passiva ozonprovtagare sker genom att molekyler diffunderar med en konstant hastighet in till ett impregnerat filter där de absorberas. Mängden som vid analys återfinns på filtret är proportionellt mot luftkoncentrationen av ozon under provtagningsperioden (Naturvårdsverket, 1998).

Eftersom ozon har en mycket hög depositions-hastighet är det viktigt att de passiva ozonprovtagarna placeras öppet och på minst tre meters höjd över markytan så att vinden får spritt spelrum. Öppna sluttningar eller höjder med relativt stora avstånd till skogskanter (50 m) är lämpliga platser. Platser där nattinversion kan förekomma bör undvikas. Provtagarna har skyddats av ett regnskydd på vars undersida provtagaren fästs fast. Exponeringen startar så fort plastburkens lock avlägsnas. Då mätningen skall avslutas läggs provtagaren tillbaka i burken och locket sätts på. Eventuella avvikelser skrivs ned på protokollet där även start- och stoppdatum för provtagningen fylls i. Provtagarna returneras till IVL:s laboratorium i Göteborg för analys (IVL, 1998).

6. Resultat och diskussion

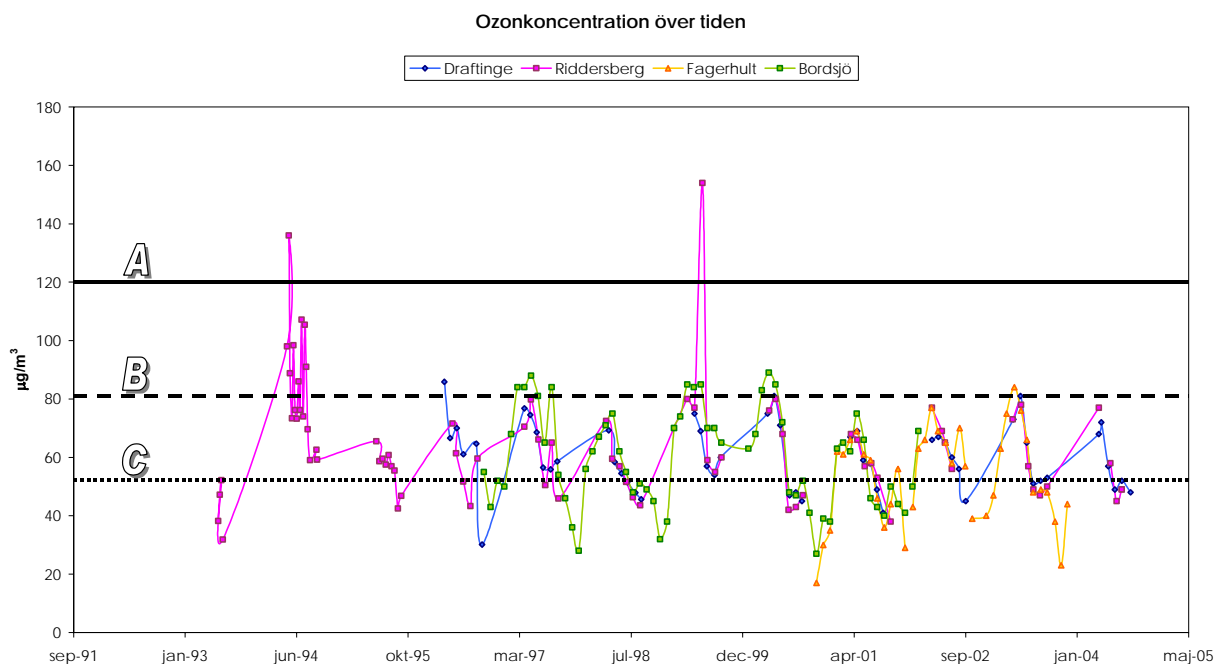
Nedan följer en presentation och analys av resultaten från mätningarna av marknära ozon i länet som pågått under perioden 2002-2004. Resultaten analyseras genomgående i relation till gällande riktlinjer, FN konvention, EG direktiv samt svenska miljö kvalitetsnormer och miljömål. Till visuell hjälp används klassificeringen i Tabell 3.

6.1 Marknära ozonhalter över tiden

Figur 3 visar ozonhalternas utveckling över tiden vid länets fyra stationer aktiva under perioden 2002-2004. Värdena är månadsmedelvärden i allmänhet förutom de första mätningarna (1993-94) vid Riddersberg som framgår av figuren.

Tabell 3. Gränsvärdeskategorier baserat på Tabell 1.

Kategori	Gränsvärde
A	120 $\mu\text{g m}^{-3}$
B	80 $\mu\text{g m}^{-3}$
C	50 $\mu\text{g m}^{-3}$
D	AOT40=18000 $\mu\text{g m}^{-3}\cdot\text{h}$ (som 5års medel)
E	AOT40=6000 $\mu\text{g m}^{-3}\cdot\text{h}$
F	25 dagars överskridande av 8h medel >120 $\mu\text{g m}^{-3}$
G	20 dagars överskridande av 8h medel >120 $\mu\text{g m}^{-3}$



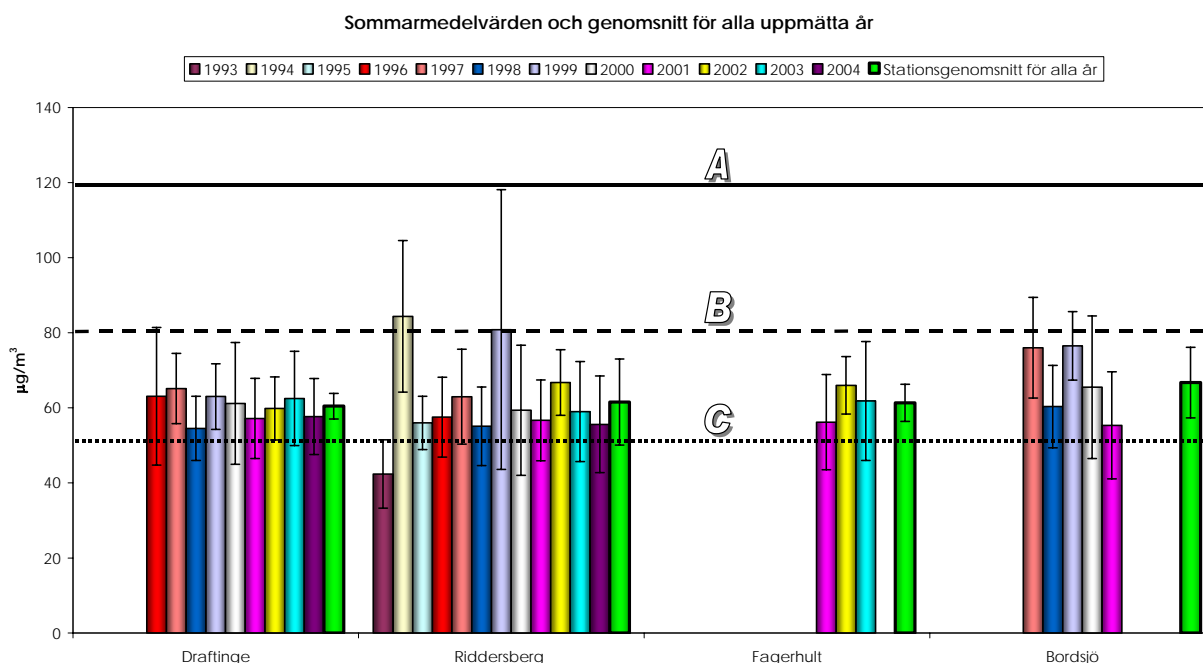
Figur 3. Uppmätt ozonkoncentration vid Draftinge, Riddersberg, Fagerhult och Bordsjö den tid stationerna varit i bruk. Halterna är uppmätta under STP fr.o.m. 1999 vid Draftinge, 2000 vid Riddersberg, och 2002 vid Fagerhult och Bordsjö. Se Tabell 3 för gränsvärdesförklaring.

Ozonhalterna i länet uppvisar ingen tydlig flerårstrend utan värdena fluktuerar mellan 20 och 100 $\mu\text{g m}^{-3}$ ganska regelbundet. Dessutom varierar stationerna på liknande sätt över tiden. Beträffande gränsvärdena så överskrids sällan WHO:s riktlinjer för fara för människors hälsa (120 $\mu\text{g m}^{-3}$) i någon större utsträckning. Det bör dock nämnas att månadsmedlen sannolikt döljer stora dygnsvariationer vilket kan ses i den relativt höga tvåveckors toppen vid Riddersberg 1994. I juni 1999 uppmättes där dessutom en osedvanligt hög koncentration (154 $\mu\text{g m}^{-3}$). Huruvida denna höga halt berott på mätfel av något slag eller representerar faktisk koncentration går inte att utröna. Figur 3 klargör dessutom att länet regelbundet överskrider gällande normer och mål för skada på vegetation (80

$\mu\text{g m}^{-3}$) åtminstone en månad under sommaren (speciellt Bordsjö) samt att generationsmålet (50 $\mu\text{g m}^{-3}$) är fortfarande en bra bit bort.

6.2 Medelvärden över sommarhalvåret

Stationernas sommarmedelvärden (april-september) och tillhörande standardavvikelse under året samt sommarmedelhalten för varje station över de år den varit i bruk och tillhörande standardavvikelse presenteras i Figur 4.



Figur 4. Sommarmedelvärden (april-september) och sommargenomsnittet för varje station under de år stationen varit i bruk samt tillhörande standardavvikelse. Se Tabell 3 för gränsvärdesförklaring.

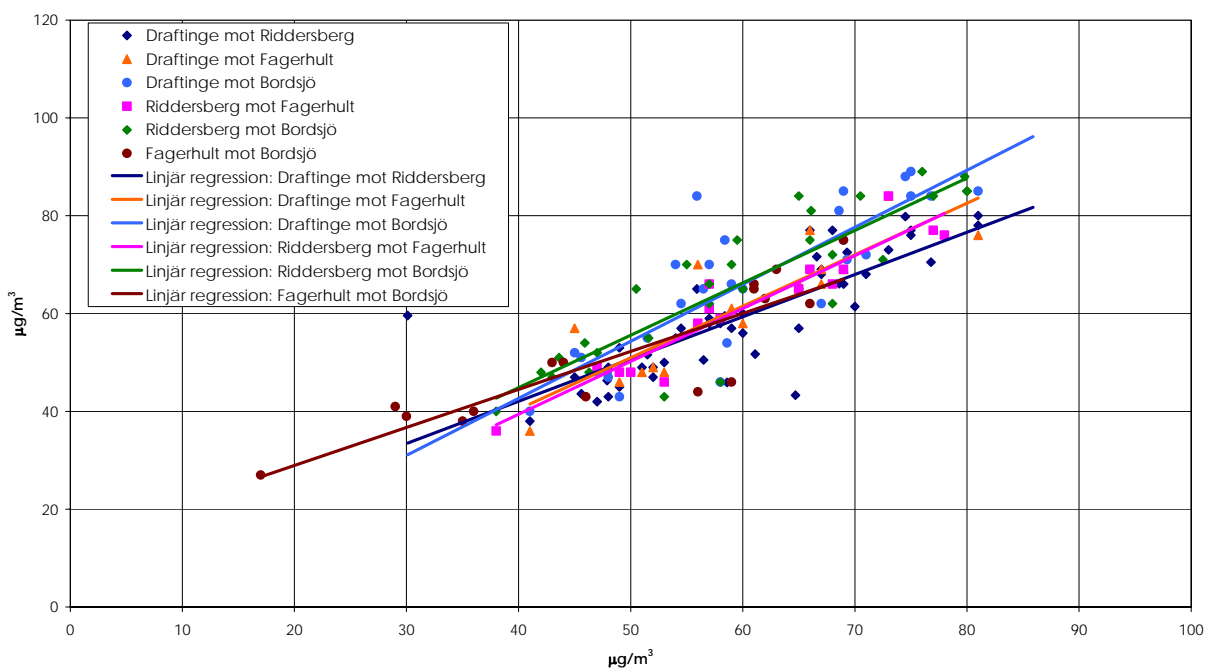
Merparten av ozonhalterna och i princip alla sommarmedelvärden ligger under 80 $\mu\text{g m}^{-3}$. Variationer år från år finns fast är sällan signifikanta. Generationsmålet 50 $\mu\text{g m}^{-3}$ april-oktober överskrids i snitt på alla statio-

ner, med något enstaka undantag, alla år och flerårsmedlet ligger följaktligen över denna nivå vid varje station. Flerårsmedlet skiljer sig väldigt lite åt mellan stationerna (vilket de överlappande standardavvikelse visar).

Som regel utgör halterna av marknära ozon ingen fara för människors hälsa sett som månads- eller sommarmedelvärden. Som tidigare nämnt refererar gränsvärdena till 8h medelvärden som sannolikt varierar mycket mer än månadsmedelvärdena (se sektion 6.5.2).

6.3 Samstämmighet mellan stationerna

Figur 5 och Tabell 4 presenterar samstämmigheten mellan länets stationer genom att korrelera dem mot varandra.



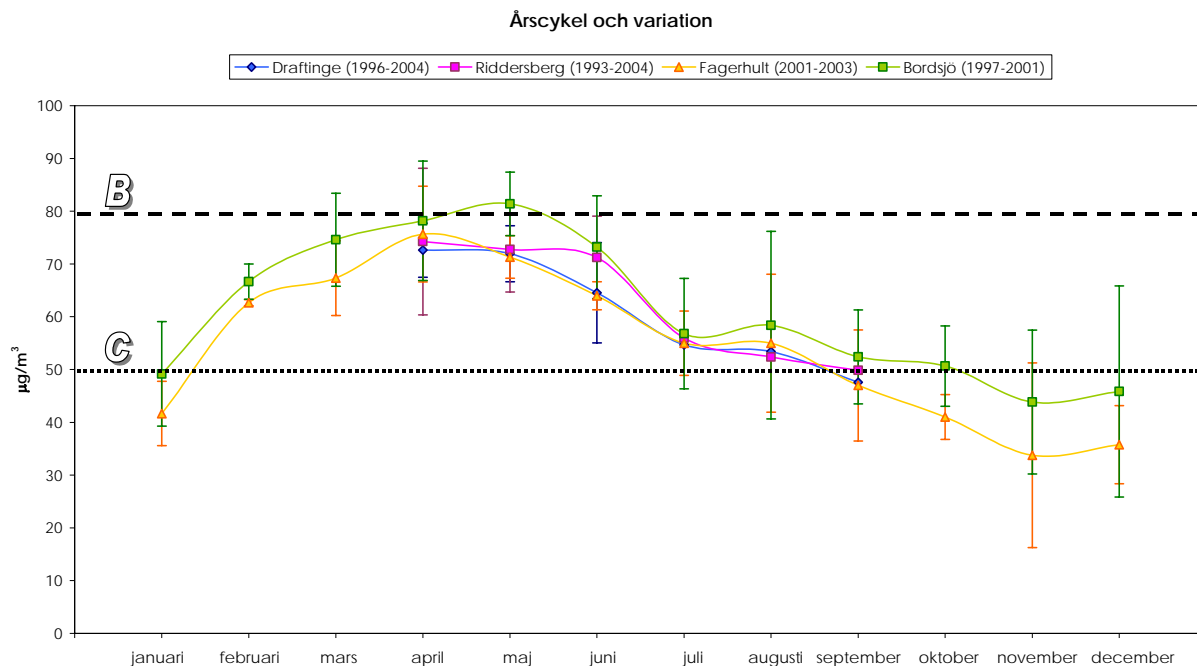
Figur 5. Samstämmighet i koncentrationsvariation mellan de olika stationerna. Figuren exkluderar ett osedvanligt högt värde i juni 1999 vid Riddersberg eftersom det påverkade korrelationen signifikant. Se Tabell 4 för tillhörande regressionsekvationer och statistik.

Tabell 4. Regressionsekvationer och statistik för samstämmighet i koncentrationsvariation mellan länets olika stationer (jämför med Figur 5).

Stationskombination	Ekvation	r	R ²	p-värde
Draftinge mot Riddersberg	$y=0,883x + 6,5377$	0,8086	0,6539	0,000
Draftinge mot Fagerhult	$y=1,0526x - 1,6474$	0,8676	0,7528	0,000
Draftinge mot Bordsjö	$y=1,1658x - 3,9678$	0,8462	0,7160	0,000
Riddersberg mot Fagerhult	$y=1,0806x - 3,8384$	0,9449	0,8928	0,000
Riddersberg mot Bordsjö	$y=1,076x + 1,5835$	0,8858	0,7847	0,000
Fagerhult mot Bordsjö	$y=0,7769x + 13,394$	0,8884	0,7893	0,000

Det är tydligt från figuren och tabellen att samstämmigheten mellan stationerna är stor. Alla stationskombinationer visar på ett starkt samband ($R^2 > 0,5$) och flertalet visar på

ett mycket starkt samband ($R^2 > 0,75$). Dessutom är alla förhållanden signifikanta från en statistisk synvinkel ($p < 0,01$). Det betyder att en stations ozonhalt kan beräknas med god



Figur 6. Säsongscykel visar variationen i ozonkoncentration över året. Värdena är månadsmedelhalter över de år då stationen varit i bruk med tillhörande standardavvikelser. Se Tabell 3 för gränsvärdesförklaring.

sannolikhet (och viss felmarginal) utifrån någon av de andra stationerna. Det framgår också från ekvationerna att värdena varierar i snitt 5-23% från varandra.

6.4 Säsongscykel

Ozonets säsongscykel i fråga om månadsmedelhalt över de år stationen varit i bruk och tillhörande standardavvikelse presenteras i Figur 6.

Ozonhalten uppvisar en tydlig cykel över året där toppen oftast ligger i april eller maj månad. Typiska värden för maj är 60-90 $\mu\text{g m}^{-3}$, medan typiska värden för november är 20-60 $\mu\text{g m}^{-3}$. Figuren visar att halterna vid Bordsjö ofta ligger snäppet över Fagerhult medan halterna vid Draftinge och Riddersberg ofta följs åt. Halten för där växtlighet börjar ta skada (80 $\mu\text{g m}^{-3}$) överskrids ofta på försommaren. Generationsmålet – att under-

stiga 50 $\mu\text{g m}^{-3}$ april-oktober – nås i snitt bara under vintermånaderna.

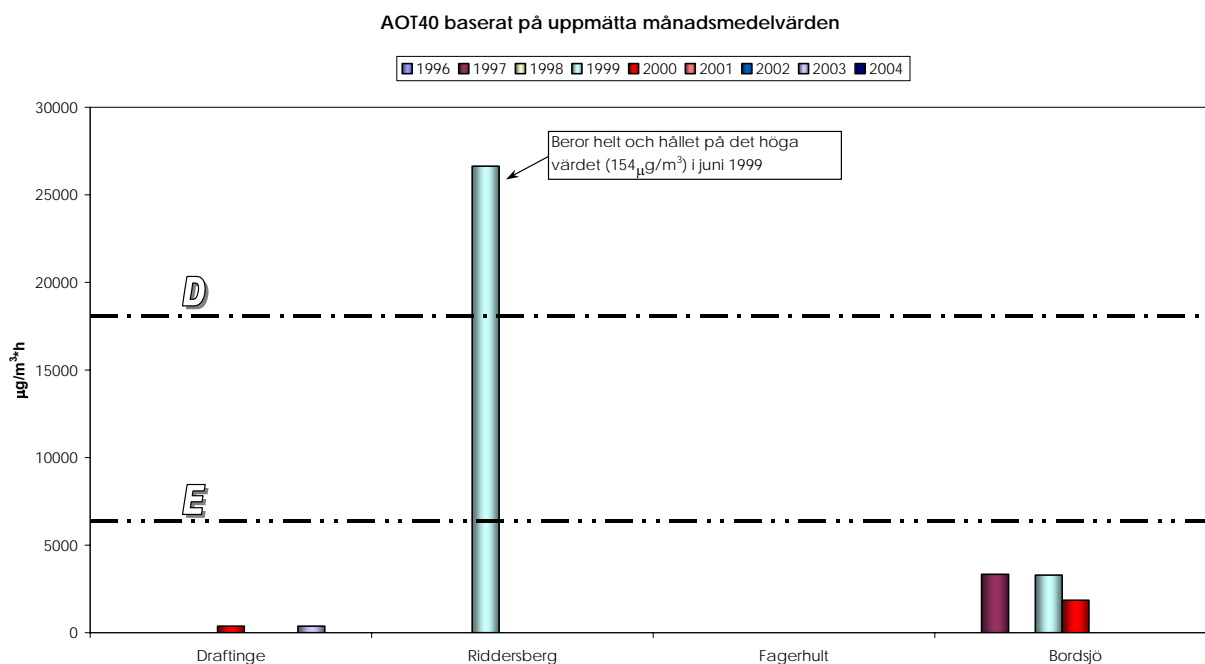
6.5 Länets halter och gällande gränsvärden

6.5.1 Vegetation

Gällande konvention, direktiv, normer och mål anger gränsvärden beträffande skada på vegetation i AOT40 formatet (Tabell 1). Mätningar i Jönköpings län utförs inte för närvarande med tillräcklig precision för att kunna värderar länets halter gentemot AOT40 nivån på ett tillfredsställande sätt. Trots detta har två överslagsberäkningar utförts för att få en känsla för vart länet kan tänkas befinna sig i relation till dessa gränsvärden. I den första beräkningen som presenteras i Figur 7 antas alla dygnets ljusa timmar (8-20 enligt ramdirektivet) ha samma ozonhalt som månadsmedelhalten. Om denna överstiger 80 $\mu\text{g m}^{-3}$ ackumuleras den överstigande delen och

summan av dessa utgör sedan årsvärdet för AOT40. Beräkningen antar dessutom att stationerna inte påverkas nämnvärt av nattliga temperaturinversioner som sänker ozonhalterna avsevärt där de förekommer. Figur 7 indikerar att länets halter som regel inte är i närheten av de uppsatta gränsvärdena (med undantag för det höga värdet uppmätt i juni 1999 vid Riddersberg) varken beträffande de regler som gäller fr.o.m. 2010 eller fr.o.m. 2019.

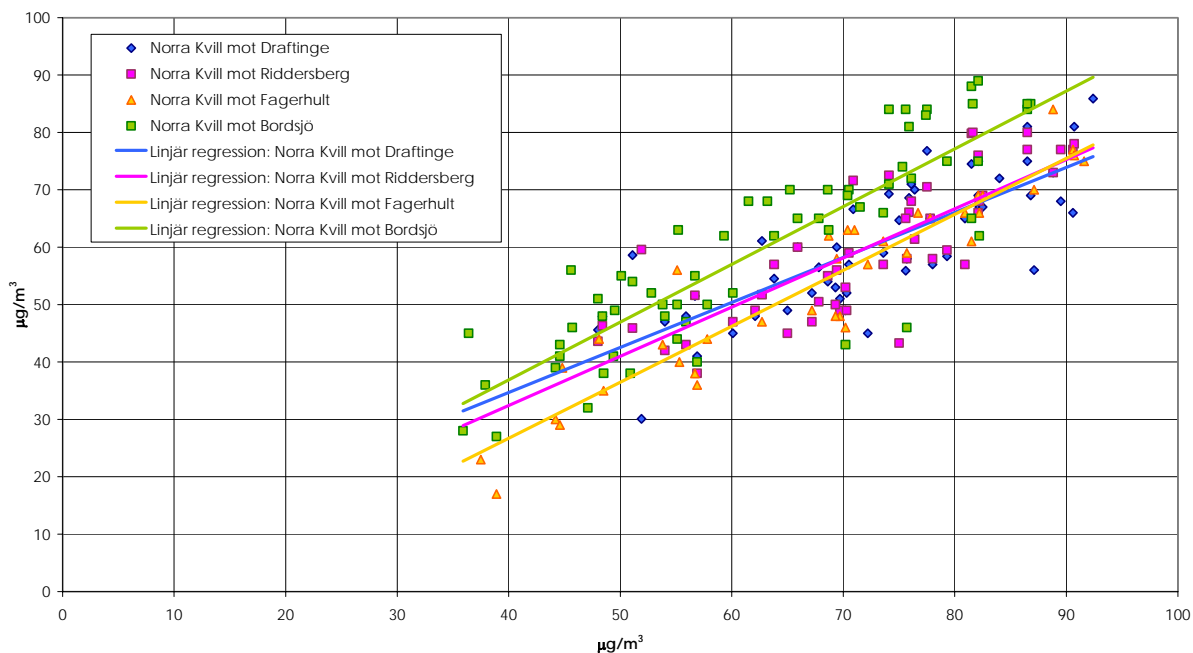
Eftersom månadsmedelvärdena missar stora delar av variationen timme till timme och därmed också flertalet timmar som annars skulle ha ackumuleras är Figur 7 sannolikt en underskattning av den faktiska situationen. Därför beräknades AOT40 även med hjälp av IVL:s nationella mätstation Norra Kvill. Eftersom månadsmedelvärden i Norra Kvill korrelerar väl med länets stationer (Figur 8) antogs att även AOT40 gör det på liknande sätt. Med ekvationskoefficienterna från korrelationen av månadsmedelvärdena som grund räknades en mer sannolik AOT40 ut (Figur 9).



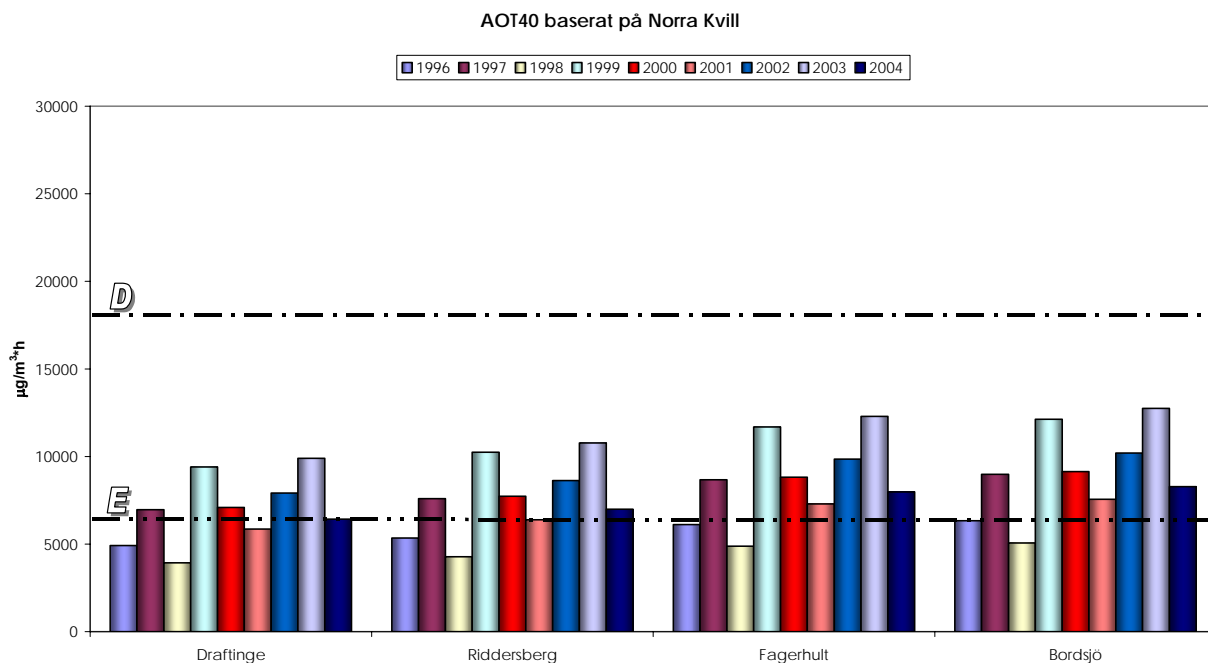
Figur 7. Länets förhållande till gränsvärden beträffande vegetation beräknat på antagandet att alla timmar under månaden hade samma halt som månadsmedelvärdet. Se Tabell 3 för gränsvärdesförklaring.

Tabell 5. Regressionekvationer och statistik för samstämmighet i koncentrationsvariation mellan Norra Kvill och länets olika stationer (Se Figur 8).

Stationskombination	Ekvation	r	R ²	p-värde
Norra Kvill mot Draftinge	$y = 0,7841x + 3,3322$	0,7959	0,6335	0,000
Norra Kvill mot Riddersberg	$y = 0,8567x - 1,8554$	0,8097	0,6556	0,000
Norra Kvill mot Fagerhult	$y = 0,9753x - 12,275$	0,9409	0,8852	0,000
Norra Kvill mot Bordsjö	$y = 1,0055x - 3,3176$	0,8659	0,7497	0,000



Figur 8. Samstämmighet i koncentrationsvariation mellan Norra Kvill och länets stationer. Se Tabell 5 för tillhörande regressionsfunktioner och statistik.

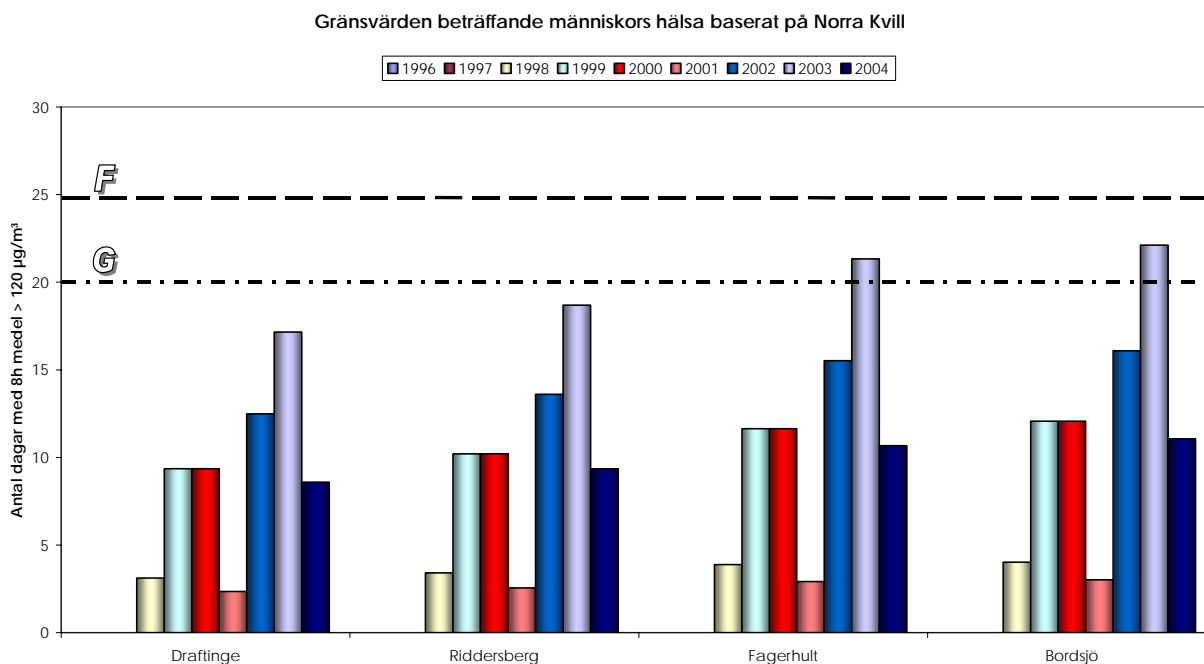


Figur 9. Länets förhållande till gränsvärden beträffande vegetation baserat på Norra Kvill beräknat på antaganden om att AOT40 korrelerar på samma sätt som månadsmedelvärdena mellan länets stationer och Norra Kvill (med ekvationskoefficienterna från Tabell 5). Se Tabell 3 för gränsvärdesförklaring.

Indikationen från beräkningarna baserade på jämförelsen med Norra Kvill (Figur 9) visar på en radikalt annorlunda AOT40 situation i länet än den som framgår från den initiala beräkningen (Figur 7). Det verkar som länet sannolikt ligger långt under ramdirektivet och miljö kvalitetsnormen som gäller från 2010 till 2020 (dvs. $AOT40 < 18000 \mu\text{g m}^{-3}\text{h}$) fast ändå har en bit kvar till att nå FN konventionen och miljö kvalitetsnormen som börjar gälla 2020 (dvs. $AOT40 < 6000 \mu\text{g m}^{-3}\text{h}$) eftersom denna nivå överskrids flertalet år under beräkningsperioden. Flerårstrenden verkar vara svagt uppåt vilket går i motsatt riktning mot intentionen i taktidirektivets delmiljömål.

6.5.2 Människors hälsa

På liknande sätt som för vegetation anger gällande riktlinjer, konvention, direktiv, normer och mål gränsvärden beträffande skada på människors hälsa med en sådan precision att mätningarna i länet inte kan värderas gentemot dessa på ett tillfredsställande sätt (Tabell 1). Om antagandet görs att korrelationen mellan Norra Kvill och länets stationer beträffande gränsvärdena för människors hälsa förhåller sig på samma sätt som korrelationen dem emellan beträffande månadsmedelvärden så erhålls en uppskattning av länets ställning gentemot gällande gränsvärden (Figur 10).



Figur 10. Länets förhållande till gränsvärden beträffande människors hälsa baserat på Norra Kvill beräknat på antaganden om att gränsvärdet korrelerar på samma sätt som månadsmedelvärdena mellan länets stationer och Norra Kvill (med ekvationskoefficienterna från Tabell 5). Se Tabell 3 för gränsvärdesförklaring.

Det framgår från Figur 10 att akuta effekter på människors hälsa på grund av marknära ozon (enligt WHO:s riktlinjer) inte nödvändigtvis alltid är små. Ramdirektivets eftersträvan för perioden 2010-2019 (att inte överskrida 25 dagar med högsta 8h medelhal-

ten under ett dygn $>120 \mu\text{g m}^{-3}$) överskrids inte i länet. Däremot verkar länet en bra bit från taktidirektivets delmiljömål (att inte överskrida WHO:s riktlinjer >20 dagar/år samt att minska överskridandet med 2/3 mellan 1990 och 2010) i och med att 20 dagars

nivån överskridits på senare år samt att en tydlig tendens till ökad risk för människors hälsa över tiden verkar finnas. Vidare tycks ramdirektivets långtidsmål, miljökvalitetsnormen och miljömålet (att inte överskrida $120\mu\text{g m}^{-3}$ som högsta 8h medelvärde under ett dygn) väldigt långt borta för länet. Endast i mitten av 1990-talet hade regionen en på så vis tillfredställande ozonhalt beträffande skada på människors hälsa.

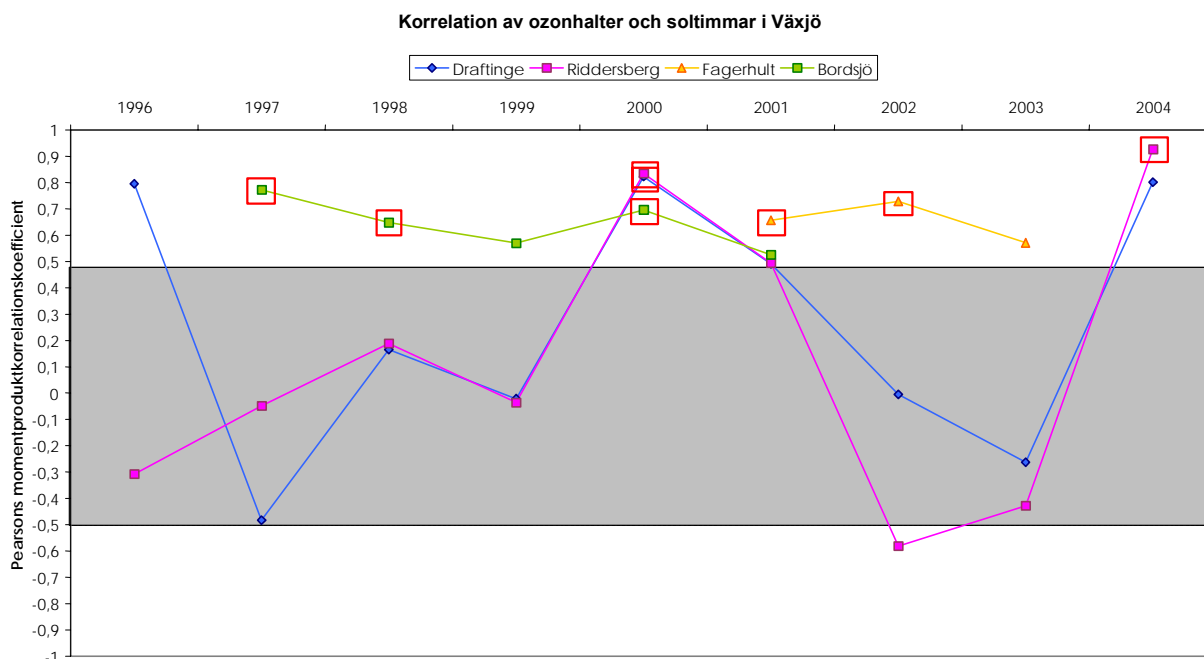
6.6 Bidragande orsaker till bildningen av marknära ozon

Som ett led i att öka förståelsen om begränsande faktorer för bildningen av marknära ozon i länet jämförs även ozonhalter vid lä-

nets stationer med uppmätta halter av kvävedioxid och solljus. Kvävedioxidhalterna mättes vid samma stationer som ozonet medan solljuset mättes vid SMHI:s närmaste mätstationer (Norrköping och Växjö).

Kvävedioxid uppvisar endast en svag in-vers korrelation med marknära ozon ($R^2=0,153$ för Bordsjö och $R^2=0,297$ för Fagerhult) vilket tyder på att kväve inte var den primärt begränsande faktorn i ozonbildningen vid dessa stationer (NO_2 mättes ej vid Draftinge och Riddersberg).

Figur 11 visar på korrelationen mellan antalet soltimmar i Växjö och ozonhalterna vid länets stationer månad för månad de år stationerna varit i bruk. Endast korrelationen med antal soltimmar från Växjö visas eftersom mycket liten korrelationsvariation observerades i jämförelse med Norrköping.



Figur 11. Korrelation av ozonhalter vid länets stationer och soltimmar i Växjö månad för månad under de år stationerna varit i bruk. Det skuggade fältet indikerar svag korrelation ($\pm 0,5$) och de röda rektanglarna indikerar signifikant korrelation ($p < 0,05$).

Det framgår från Figur 11 att ett ganska komplicerat förhållande mellan soltimmar och ozonhalt existerar. Beträffande Draftinge och Riddersberg är det inte sällan som korrelationen är svag eller obefintlig (förutom år

2000 och 2004). Däremot är ozonhalterna vid både Bordsjö och Fagerhult ofta signifikant korrelerade med antalet soltimmar vilket tyder på att solljuset är en signifikant begränsande faktor vid dessa lokaler, och mer be-

gränsande där än vid Draftinge och Riddersberg, i bildandet av marknära ozon. Kanske hänger det ihop med att ozon vid både Fagerhult och Bordsjö mätts under hela året medan halterna endast mätts under sommarhalvåret vid Draftinge och Riddersberg om solljuset är mer begränsande under vinterhalvåret jämfört med sommarhalvåret.

Eftersom solljuset också kan bryta ner ozon skulle korrelationen under tidig sommar kunna vara starkare än under sensommaren. Ett test av denna hypotes beträffande Bordsjö och Växjö fann dock ett motsatt (dock svagt) förhållande.

7. Slutsatser

Länets ozonhalter fluktuerar i en regelbunden cykel på årsbasis och har varken ökat eller minskat signifikant under perioden 1996-2004. Typiska halter för sommar respektive vinterhalvår är 60-90 $\mu\text{g m}^{-3}$ samt 20-60 $\mu\text{g m}^{-3}$ mätt som månadsmedelvärde. Halten där risk finns för skada på människors hälsa överskrids sällan medan gränsvärdet för skada på växtlighet överskrids regelbundet speciellt på försommaren. Om den relativt konstanta flerårstrenden håller i sig blir det svårt att nå generationsmålet beträffande marknära ozon. Stationerna skiljer sig inte signifikant åt utan visar istället på stor samstämmighet och därmed en övergripande länsituation snarare än lokal rumslig variation i ozonhalter.

Mätningarna i länet utförs dock inte med tillräcklig tidsupplösning för att kunna värderas gentemot gällande riktlinjer, FN konvention, EU direktiv, miljö kvalitetsnormer eller miljömål. Därför uppskattades länets förhållande till normerna beträffande människors hälsa samt vegetation med hjälp av den kontinuerligt ozonmätande stationen Norra Kvill som korrelerar mycket väl med samtliga länets stationer i fråga om månadsmedelhalter. Dessa beräkningar indikerar att länet med

god marginal klarar de gränsvärden som ramdirektivet för luftkvalitet sätter mellan 2010-2020 beträffande skada på vegetation, men att det fortfarande är en bit kvar till att nå FN konventionen och miljö kvalitetsnormen som börjar gälla 2020. Beträffande människors hälsa indikerar beräkningarna att länet erfar en trend av ökande antal dagar då den kritiska nivån där människors hälsa kan ta skada överskrids. Detta går i rakt motsatt riktning mot takdirektivet även fast gränserna satta i ramdirektivet inte nås ännu. Dessutom tycks ramdirektivets långtidsmål, miljö kvalitetsnormen och miljömålet väldigt långt borta med den ökande trenden.

Beträffande bidragande orsaker till bildandet av marknära ozon i länet observerades en svag korrelation mellan kvävedioxid och ozonhalt. Antalet soltimmar däremot visar på en variabel och komplicerad koppling till ozonhalt. Signifikanta korrelationer observerades vid stationerna Bordsjö och Fagerhult där ozonhalt mäts året runt vilket tycks tyda på att solljuset är mer begränsande under vinterhalvåret än sommarhalvåret.

8. Referenser

Europaparlamentet och Europeiska unionens råd (2001) EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2001/81/EG av den 23 oktober 2001 om nationella utsläppstak för vissa luftföroreningar. *Europeiska gemenskapernas officiella tidning*, L309, 22-30.

The European Parliament and the Council of the European Union (2002) DIRECTIVE 2002/3/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 12 February 2002 relating to ozone in ambient air. *Official Journal of the European Communities*, L67, 14-30.

Institutet för vatten- och luftvårdsforskning, IVL (1998) *Instruktioner för uppsättning av ozonprovtagare*. Stencil

Jaldemark, B. (1999) *Övervakning av marknära ozon i Jönköpings län 1996-98*. Länsstyrelsen i Jönköpings län.

Miljomal.nu *Sveriges miljömål – Officiell portal för våra 15 miljömål*. Besökt online 2005-07-07. <http://www.miljomal.nu/>

Naturvårdsverket (1993) *Marknära ozon och andra kemiska oxidanter*. Rapport 4133

Naturvårdsverket (1997) *Ren luft och gröna skogar*. Rapport 4765

Naturvårdsverket (1998) *Ozonmätningar med diffusion provtagare*. Handbok för miljöövervakning

Pihl Karlsson, G., Pleijel, H., Danielsson, H., Skärbi, L. och Ericson, L (1992) *Klöver som bioindikator för marknära ozon i Sverige - ett nationellt samarbetsprojekt*. IVL-rapport B 1074.

Pihl Karlsson, G., Pleijel, H., Danielsson, H., Skärbi, L. och Ericson, L (1993) *Klöver som bioindikator för marknära ozon i Sverige - ett nationellt samarbetsprojekt*. IVL-rapport B 1124.

Pihl Karlsson, G., Pleijel, H., Danielsson, H., Skärbi, L. och Ericson, L (1995) *Klöver som bioindikator för marknära ozon i Sverige - ett nationellt samarbetsprojekt*. IVL-rapport B 1183.

Sveriges Riksdag (2001) *Förordning (2001:527) om miljö kvalitetsnormer för utomhusluft*. SFS 2001:527

United Nations Economic Commission for Europe, UNECE (1999) *PROTOCOL TO THE 1979 CONVENTION ON LONG-RANGE TRANSBOUNDARY AIR POLLUTION TO ABATE ACIDIFICATION, EUTROPHICATION AND GROUND-LEVEL OZONE*. UNECE, Genève.

World Health Organisation, WHO (2000) *Air Quality Guidelines for Europe 2nd ed.* WHO Regional Publications, European Series, No. 91.