

Marknära ozon i Värmland

Kartering av marknära ozon i Värmlands län 2004



Projekttitel

Kartering av marknära ozon Värmlands län för åren 2000-2002

Uppdragsgivare

Länsstyrelsen i Värmlands Län, Miljöavdelningen
Helena Håkanson

Rapportförfattare

Max Hansson
Jan-Olov Andersson (bearbetning av kartor)

Organisation

Karlstads universitet

Adress

Institutionen för natur och miljö
Universitetsgatan 1
651 88 Karlstad

Telefon

054-700 24 03

054-700 13 61

Fax

054-700 14 62

FÖRORD

Länsstyrelsen i Värmland har i uppdrag av Regeringen att regionalt följa upp miljö kvalitetsmålen. Ett av målen är att följa upp miljö kvalitetsmålet Frisk luft med delmålet för marknära ozon. Mätningar av marknära ozon har sedan 1996 utförts i länet på fyra lokaler (Böckeln, Blåbärskullen, Södra Averstad och Transtrandsberget) på uppdrag av Värmlands läns luftvårdsförbund inom det sk. Krondroppsnetet. Krondroppsnetet är samordnade mätningar av luftföroreningar i Värmlands län. Utifrån dessa mätningar av marknära ozon i Värmland går det dock inte att bedöma ozonhalterna inom länet som helhet.

För att få en bättre bild av ozonbelastningen i Värmland har därför Länsstyrelsen i Värmland gett Karlstads Universitet i uppdrag att genomföra en kartering av ozonbelastning i Värmlands län. Som underlag för karteringen behövdes en meteorologisk spridningsberäkning samt en vegetations- och bebyggelsekarta över Värmland. På uppdrag av Länsstyrelse har IVL Svenska miljöinstitutet AB genomfört en meteorologisk spridningsberäkning för marknära ozon och Skogsvårdsstyrelsen Värmland-Örebro har tagit fram en klassad vegetations- och bebyggelsekarta över Värmland. Bearbetning och analys av data och kartmaterial har utförts av Max Hanson, doktorand på Karlstads Universitet.

Arbetet på Länsstyrelsen har genomförts av flera medarbetare. Helena Håkanson och Dag Cederborg har haft det övergripande samordningsansvaret för genomförande av uppdraget. Jan Bodin, Ingrid Tilly, Gunnar Lagerkvist och Håkan Kjørsträd har varit delaktiga i utformningen av uppdraget. På IVL Svenska miljöinstitutet AB är det Marie Haeger-Eugensson som utfört den meteorologisk spridningsberäkningen. Pär Nyman, Skogsvårdsstyrelsen Värmland-Örebro tog fram vegetations- och bebyggelsekartan. Uppdraget har finansierats med statliga pengar för miljömålsarbetet. Alla som deltagit i arbetet med kartering av marknära ozon i Värmlands län tackas för värdefulla insatser!

Helena Håkanson

Miljöavdelningen

Länsstyrelsen i Värmland

Innehållsförteckning

| | |
|--|-----------|
| SAMMANFATTNING | 2 |
| INLEDNING | 4 |
| MARKNÄRA OZON | 4 |
| NATIONELLA MILJÖMÅL | 8 |
| MODELLERING AV HALTERNA MARKNÄRA OZON I VÄRMLANDS LÄN | 9 |
| OZONHALTER I VÄRMLANDS LÄN | 9 |
| SPRIDNINGSMODELL FÖR LUFTFÖRORENINGAR - TAPM..... | 11 |
| RESULTAT OCH DISKUSSION | 12 |
| REFERENSER | 30 |

Sammanfattning

Resultatet av den utförda modellberäkningen visar inte att det nuvarande miljö kvalitetsmålet för marknära ozon överskrids inom Värmlands län men visar ändå att det finns risk för vegetationsskador pga. förhöjda halter av marknära ozon inom länet. Den modell som använts underskattar halterna. För att med större säkerhet kunna modellera ozonhalterna krävs därför kompletterande mätningar i fält.

Rapporten är framtagen på uppdrag av Länsstyrelsen i Värmlands län för att kartlägga förekomsten av marknära ozon i Värmlands län. Syftet är att beskriva den lokala variationen i ozonexponering, ozonhalternas storlek och visa skillnaderna i ozonexponering mellan olika delar av länet, samt skillnaderna mellan olika år. I denna studie har ozonhalterna på timbasis framtagits med en lokal, meteorologisk-luftkemisk modell (TAPM) för Värmlands län för åren 2000 till 2002. De modellerade ozonhalterna kan användas i arbetet med att följa upp det nationella miljömålet *Frisk luft*, samt att förbättra underlaget för beräkningar av skördeförkluster inom jordbruket och tillväxtminskningar i produktiv skogsmark orsakat av marknära ozon.

Resultaten från modellen har använts för att uppskatta den geografiska fördelningen i ozonbelastningen eftersom modellering har utgått ifrån bakgrundshalter på månadsbasis. De modellerade ozonhalterna var avsevärt lägre jämfört med observerade halter vid Karlstads universitets fältstation *Niklasdamm*, vilket kan bero på att de månatliga bakgrundshalterna inte kan fånga upp kortare episoder med höga ozonhalter. Modellen underskattar därför nivåerna av ozonhalten i Värmlands län. Generellt lyckas dock modellen beskriva variationen av ozonhalter över dygnet relativt väl, vilket ökar modellens trovärdighet. Modellen tar också hänsyn till skillnader över säsongen, mellan olika delar av länet, samt skillnader i topografien.

Modellens underskattning av ozonhalten medför att alla de ozonindex som för närvarande används inom EU's direktiv om ozon i luften (EU Direktiv 2002/3/EG), UNECE konventionen om långväga transporterande luftföroreningar (LRTAP), samt det nationella miljömålet *Frisk luft* systematiskt blir underskattade vid modellerandet, eftersom de antingen bygger på maximala värden eller beräknas som en ackumulerad dos över ett tröskelvärde (ex. AOT40). Ozonindexet AOT40 beräknat för de modellerade halterna ger en fel bild av det verkliga förhållandet i länet. Modellens beräkningar underskattar AOT40 med hela 69 % i jämförelse med närliggande utförda kontinuerliga mätningar. Kompletterande lokala mätningar kan fånga in de korta och höga ozonepisoderna, vilket skulle ge en bättre bild av ozonets effekter på vegetationen i Värmlands län. Om faktiska bakgrundshalter skulle inkluderas i modellen skulle modelleringen av ozonhalterna sannolikt även fånga in episoder och därmed också reflektera haltnivåerna och beräkningar av olika index på ett mer korrekt sätt.

Inledning

Övervakning av luftföroreningar i Värmlands län har under flera år utförts av IVL Svenska Miljöinstitutet AB på uppdrag av Värmlands läns luftvårdsförbund (Uggla 2003). Mätningarna har utförts med hjälp av diffusionsprovtagare (passiva provtagare) en gång per månad under sommarhalvåret vid tre-fyra platser sedan 1995. Månadsmedelvärdena har jämförts med Naturvårdsverkets miljökvalitetsmål. Resultaten visar att de uppmätta ozonhalterna indikerar på en viss risk för vegetationsskador i länet. Halterna varierar från år till år, vilket beror till stor del av skillnader i klimatet. För att beskriva skillnaderna mellan olika år och på olika platser i länet har Karlstads universitet på uppdrag av Länsstyrelsen i Värmlands län kartlagt förekomsten av marknära ozon i länet med hjälp av en meteorologisk-luftkemisk modell (TAPM). Körning av modellen utfördes av Marie Häger, IVL och de erhållna resultaten bearbetades och jämfördes med mätningar utförda med passiv givare. Resultaten redovisas i denna rapport och jämförs med nationella och internationella riktvärden.

Marknära ozon

Ozon (O_3) i troposfären (från markytan upp till c. 10 km höjd) är till skillnad mot det ozon som finns i stratosfären (som skyddar oss från UV-strålning) skadligt. Ozon i troposfären, s.k. marknära ozon, utgör idag ett hot mot människor, material och ekosystem. Marknära ozon är den luftförorening som tillmäts störst betydelse vad det gäller direkt inverkan på växtligheten i Europa. Under de senaste årtionden har ozonkoncentrationen ökat i stora delar av världen, som en följd av ökade utsläpp från förbränning av fossila bränslen. Marknära ozon bildas ur kväveoxider och kolväten i närvaro av solljus. Väder som gynnar ozonbildning är högtrycks-situationer då vädret är varmt och soligt med låga vindhastigheter. Huvuddelen av de kväveoxider och kolväten som ger upphov till ozonbildning i Sverige är långväga transporterade från kontinentala Europa samt från Storbritannien. Vidare sker en global transport av ozonbildande ämnen över norra hemisfären. Bakgrundshalterna av ozon över norra hemisfären förutsägs fortsätta att öka på grund av ökande luftutsläpp i utvecklingsländer, bl.a. i Asien (Johnson et al. 2001).

Ozonets skadlighet på växter har varit känd i över 30 år, men det är först de senaste årtiondena dess betydelse har blivit en större angelägenhet i Europa (Fuhrer et al. 1997). Negativa effekter på växter har observerats i både USA och Europa, som en följd av ökade halter av ozon (Matyssek and Innes 1999; Samuelson and Kelly 2001; Skärby et al. 1998; Skärby et al. 1995). Det finns starka vetenskapliga bevis att produktionen av känsliga jordbruksgrödor, som vete, potatis och vallväxter, har minskat på grund av ökade halter av ozon i Sverige och Europa (Danielsson et al. 2003). Produktionsbortfallet i Sverige till följd av ozonskador på skog beräknas till cirka en halv miljard kronor om året (Karlsson et al. 2005). Skador som uppstår pga. av ozon visar karakteristiska synliga skador på bladen, s.k. nekros och kloros (figur 1). Skadorna uppstår ofta i samband med höga ozonepisoder, dvs. korta perioder av väldigt höga ozonkoncentrationer. Dagens europeiska halter av marknära ozon ger förutomskador på grödor, även skador på skogsträd och vilda växter. Flera experiment har visat att ozon reducerar både tillväxt och nettofotosyntesen hos flera viktiga trädslag, såsom gran och björk (Karlsson et al. 2002a; Uddling et al. 2004).



Figur 1. Synliga ozonskador (t.v.) på björkblad (*Betula pendula*).
Foto: Hans-Olof Höglund, Karlstads universitet.

I Sverige behandlas marknära ozon under miljömålet Frisk Luft (Riksdag propositionen 2000/2001:130) där entimmes medelvärdet ej bör överskrida 40 ppb (ca $80 \mu\text{g m}^{-3}$) som generationsmål.

Inom Europa pågår det idag ett intensivt arbete att beskriva och uppskatta hur mycket ozon naturen "tål" och till hjälp används kritiska haltnivåer. Kritiska nivåer brukar definieras som "den koncentration av föroreningar i atmosfären över vilken negativa effekter uppstår på växter, ekosystem och material, enligt nuvarande kunskap". Internationellt är det UN-ECE (FN:s ekonomiska kommission för Europa) som har varit den viktigaste aktören inom arbetet med åtgärder mot ozoneffekter på vegetationen. För närvarande är det 79 länder och organisationer som har skrivit under FN:s konvention om långväga transporterade luftföroreningar, LRTAP, som etablerades 1979. Åtta överenskommelser om olika utsläpps begränsningar har tillkommit sedan konventionen bildades. De länder som deltar i konventioner har att ta ställning till om de godtar (ratificerar) överenskommelserna och, om så är fallet, följa de utsläpps begränsningar som beslutats. Det finns dock inga juridiska möjligheter att "straffa" de länder som inte lyckas med sina åtaganden. Under senare år har EU vuxit fram som en allt starkare aktör när det gäller gränsöverskridande luftföroreningar. Inom EU gäller idag ett nytt EU-direktiv om ozon i luften (2002/3/EG), där ozonindexet AOT40 används för att skydda växtligheten. Som målvärde för år 2010 anger EU i sitt ozondirektiv att AOT40 under maj-juli inte ska överskrida $18000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - timmar (9000 ppb-h) som skydd för jordbruksgrödor, vilda örter och gräs. Som långsiktigt mål inom EU gäller att AOT40 under maj-juli inte ska överskrida $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -timmar (3000 ppb-h) år 2020. Den gällande AOT40-nivån till skydd av skog är $20\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - timmar ($10\,000 \text{ ppb-h}$) under april-september.

Tabell 1. Kritiska nivåer för ozons inverkan på vegetationen inom FN:s konvention LRTAP och inom EU:s direktiv (2002/3/EG) om ozon i luften.

| FN:s konvention LRTAP | | EU:s direktiv (2002/3/EG) | |
|--|--|--|---|
| <i>Jordbruksgrödor och naturlig vegetation</i> | <i>Skogsträd</i> | <i>Målvärde för 2010</i> | <i>Långsiktigt mål</i> |
| AOT40 *, 3000 ppb timmar, maj-juli (8-20) ** | AOT40 *, 10000 ppb timmar, april-september (8-20) ** | AOT40 *, <9000 ppb timmar, maj-juli (8-20), *** ** | AOT40 *, 3000 ppb timmar, maj-juli (8-20) *** |

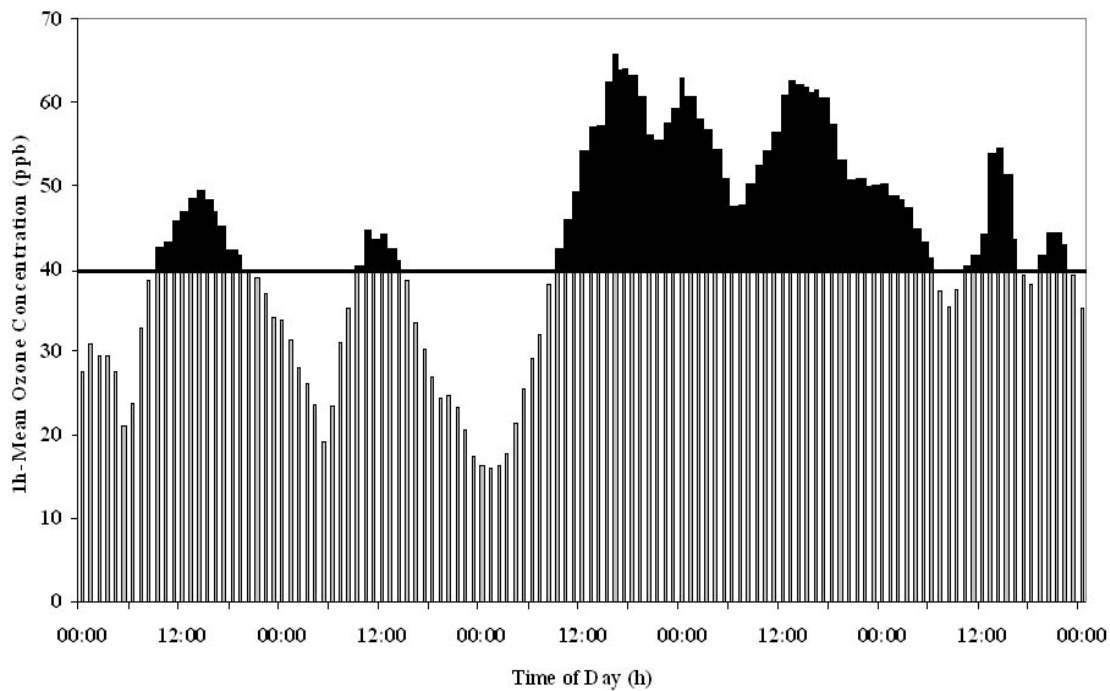
* Accumulated exposure Over a Threshold 40 ppb. AOT40 uttrycks antingen som ppb timmar eller som $\mu\text{g}/\text{m}^3$ timmar 1 ppb motsvarar ca $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

** medelvärde under 5 år

*** värdet får ej överskridas

Faktaruta AOT40

De kritiska nivåer som för närvarande gäller för ozons inverkan på vegetationen inom konventionen (CLRTAP) baserar sig på ett dosrelaterat mått, AOT40, där AOT står för *Accumulated exposure Over Threshold*. AOT40 innebär ackumulerat överskridande av halten 40 ppb (1 ppb motsvarar ca $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) under en viss tidsperiod. För jordbruksgrödor, samt för naturlig vegetation, gäller en kritisk nivå på 3000 ppb-timmar ackumulerat under perioden maj-juli. För träd gäller en kritisk nivå på 10000 ppb-timmar ackumulerat under perioden april-september. Värdena gäller som medelvärden under en 5 års period.



Figur 2. AOT40 använder ett tröskelvärde på 40 ppb ($1 \text{ ppb } \text{O}_3 = 1,96 \mu\text{g } \text{O}_3/\text{m}^3$). Halterna (1 h-medelvärde) över 40 ppb räknas som ppb-timmar (ppb-h) och summeras under en viss period. För grödor summerar man över en 3-månadersperiod (maj-juli) och för skog 6-månadersperiod (april-september). Endast de värden som överstiger 40 ppb räknas (svartmarkerat).

Nationella miljömål

1999 fattade Riksdagen beslut om 15 Miljömål, nationellt övergripande miljö kvalitetsmål (2000/2001:130). Inom miljömålet ”*Frisk luft*” behandlas marknära ozon, samt gasformigt NO₂ och SO₂ och där står det följande: ”*Luften skall vara så ren att människors hälsa samt djur, växter och kulturvärden inte skadas*”. Miljö kvalitetsmålet innebär bl.a. att halterna av marknära ozon inte överskrider de gränsvärden som satts för att hindra skador på människors hälsa, djur, växter, kulturvärden och material. Inriktningen är att miljö kvalitetsmålet skall nås inom en generation. För att nå de uppsatta miljömålen har även del- och generationsmål utvecklats. Delmålen avser att förorenings- och utsläppsmål skall vara uppfyllda senast 2010. Generationsmål avser motsvarande typ av mål som delmålen, men skall vara uppfyllda på längre sikt, till ca 2020. Idag saknas det delmål för marknära ozon för skydd av vegetation. Däremot finns det ett generationsmål för marknära ozon för att skydda vegetationen, som innebär att halterna inte bör överskridas är 25 ppb som medelvärde för sommarhalvåret. Det är troligt att en revidering av generationsmålet för skydd av vegetationen kommer att ske. Naturvårdsverkets förslag till långsiktigt miljö kvalitetsmål vid bedömningen av ozonskador på växter innebär att använda AOT40. De mål för marknära ozon som satts inom det nationella miljömålet Frisk Luft är avsevärt strängare, jämfört med EU direktivet (2002/3/EG) om ozon i luften. Tröskelvärdet på 40 ppb som idag används för exponeringsindexet, AOT40, ligger nära de ozonhalter som uppträder i bakgrundsluft över norra halvklotet. Eftersom växterna tar upp ozon främst under dygnets ljusa timmar, summeras AOT40 endast för dessa. AOT40 avspeglar inte direkt växternas upptag av ozon utan räknas fram från uppmätta halter. Utvecklingen mot ett upptagsbaserat exponeringsindex för ozon har påbörjats (tredje generationen). Inom CLRTAP pågår för närvarande en revisionsprocess som syftar till att beskriva de kritiska nivåerna för vegetation. För jordbruksgrödorna vete och potatis finns förslag till nya kritiska nivåer baserade på mängden ozon som tas upp in i bladen; s.k. ozonflux. För träd och naturlig vegetation är förslaget att AOT40 bibehålls. Den kritiska nivån för naturlig vegetation kvarstår, medan värdet för träd sänks ifrån AOT40 10000 ppb-timmar till AOT40 5000 ppb timmar, ackumulerat dagtid april-september.

Forskning för att översätta månadsresultat från diffusionsprovtagare till både existerande AOT40-begrepp samt till ett upptagsbaserat exponeringsindex pågår för närvarande (Karlsson et al. 2002). En metod för att översätta 14-dagarsmedelvärde av ozon till AOT40 har föreslagits. Metoden fungerar emellertid inte tillfredsställande för månadsmedelvärden. Resultat från diffusionsprovtagarna kan dock användas för direkt jämförelse med Naturvårdsverkets miljö kvalitetsmål.

Modellering av halterna marknära ozon i Värmlands län

Ozonhalter i Värmlands län

I Sverige finns det sju officiella mätstationer i landsbygdsmiljö, s.k. EMEP-stationer, där ozonhalterna mäts med ett kontinuerligt registrerande instrument på timbasis. De representerar ett relativt glest nätverk av kontinuerliga ozonmätningar. Halterna av marknära ozon varierar både på en stor-regional nivå och lokalt. Det kan därför vara av intresse att studera variationen av ozonhalter på timbasis vid olika platser i länet. I Värmlands län finns ingen EMEP-station, (närmaste är Grimsö, Örebro län ;x-koord: 6623100; y-koord: 1481100.

Övervakning av luftföroreningar i Värmlands län har under flera år utförts av IVL Svenska Miljöinstitutet AB. Mätning av ozonhalter har mätts på tre lokaler (fyra fr.o.m. 2001) i Värmlands län sedan 1995. Lokalerna är Södra Averstad, Böckeln, Blåbärskullen och Transtrandsberget (figur 3). Mätningarna har skett med hjälp av diffusionsprovtagare -”passiva provtagare”. Ozonet i luften fångas upp på ett filter, impregnerat med en kemikalie som kvantitativt absorberar ozonet som sedan analyseras. Provtagningen har utförts en gång per månad och resultaten har presenterats som månadsmedelvärden (Walldorf and Cederborg 2003). Resultat från diffusionsprovtagarna har sedan använts för jämförelse med Naturvårdverkets miljökvalitetsmål.



Figur 3. På fyra platser i Värmlands län har mätningar av ozon utförts med diffusionsprovtagare; Södra Averstad, Böckeln, Blåbärskullen och Transtrandsberget.

Spridningsmodell för luftföroreningar - TAPM

Ett sätt att försöka uppskatta ozonhalterna för områden där inga mätningar utförs är att modellera halterna av ozon på timbasis. Vid IVL Svenska Miljöinstitutet AB har man använt sig av en spridningsmodell för luftföroreningar, TAPM-modellen. TAPM står för, "The Air Pollution Model" och är utvecklad i Australien av CSIRO Atmospheric Research division (Hurley 2002). IVL har validerat modellen för svenska förhållanden med ett gott resultat (IVL Rapport L 02/51). Modellen har även validerats för en rad andra platser i världen, bl.a. Australien och USA (Hurley et al. 2002).

Spridningsmodellen har använts för att modellera halterna av ozon på timbasis i Värmland på uppdrag av Länsstyrelsen i Värmlands län. I vanliga fall använder sig spridningsmodeller för luftföroreningar av antingen uppmätt meteorologisk data från markbaserade meteorologiska stationer eller beräknade vindfält från diagnostiska modeller (vilka också är baserade på markbaserade observationer). TAPM skiljer sig eftersom modellen själv räknar ut de nödvändiga meteorologiska parametrarna genom att beräkna grundläggande flödesdynamik och skalära transportekvationer för att kunna uppskatta meteorologin på mätplatsen. Detta eliminerar behovet av lokala meteorologiska observationer. Modellen beräknar de flöden som är viktiga för transporter i olika skalor. Ozonkoncentrationen beräknas med en gridupplösning av 5x5 km. TAPM kan, utifrån månatliga bakgrundsindata, relativt väl modellera dygnsvariationer och den geografiska fördelningen av ozon till följd av förändrad väderlek, lokala förutsättningar mm.

TAPM beräknar de meteorologiska komponenterna med en rad ekvationer för en tredimensionell simulering. Modellen beräknar momentumekvationerna för horisontella vindkomponenter, vertikala hastigheter samt ekvationer för potentiell temperatur och specifik fuktighet av vattenånga, molnvatten och regnvatten. Mikrofysik för molnbildningsprocesser är även medräknat, samt turbulens kinetisk energi och depositionshastighet för beräkning av turbulens och vertikala flöden. Strålningsbalansen är inkluderad för beräkning av såväl yttemperaturen som vertikal temperatur. Markens beskaffenheter anges i olika markanvändningsklasser av vegetationstäckning och jordart samt markfuktighet. Förutom de redan beskrivna indata, har uppmätta månadsmedelvärden av bakgrundshalten av ozon, svaveldioxid och kvävedioxid används som indata till modellering av ozon. I de fall där det finns mätningar från flera stationer har en interpolation mellan dessa gjorts. I modellen finns markanvändningsdata, markfuktighet, topografi, samt synoptiska väderdata för de aktuella perioderna.

Resultat och diskussion

Resultaten från modellen gav oftast ozonhalter under 40 ppb, vilket medförde låga AOT40-index. Orsaken var modellens systematiska underskattning. I tabell 2 presenteras ozonindexet AOT40 för några utvalda lokaler, Södra Averstad, Böckeln, Blåbärskullen och Transtrandsberget (samma lokaler som mätningar med passiva provtagare har utförts av IVL). AOT40 var beräknat för perioden april-september (växstsäsongen), dagtid, 10 meter ovanför marken för åren 2000-2002. Högsta AOT40-indexet inträffade år 2002 för samtliga lokaler, vilket var en varm och lång sommar. Jämfördes de högsta AOT40 för åren 2001 (Böckeln) och 2002 (Transtrandsberget) med kontinuerliga mätningar av ozonhalten vid Niklasdamm (Hansson et al. 2003) var skillnaden stor, 69% respektive 63%.

Exempel på variationen av ozonhalten under dygnet och under säsongen presenteras i figur 4. De beräknade ozonhalterna på timbasis med TAMP-modellen för Böckeln under perioden april-september år 2000-2002. I figur 5 jämfördes de beräknade ozonhalterna med TAPM-modellen för Böckeln och de kontinuerliga mätningarna vid Niklasdamm år 2001. Halterna presenteras som timmedelvärden. Jämförelsen mellan modellerade ozonhalter (TAPM) och uppmätta ozonhalter vid Niklasdamm visade att den lokala variationen, framförallt de korta episoderna med höga ozonhalter, var större än vad modellen beräknade. Vid Niklasdamm utfördes mätningarna över ett granbestånd kontinuerligt och lagrades som timmedelvärden, vilket därmed fångade upp all variation i halt och framför allt de korta ozonepisoderna med höga halter. De lägre modellerade ozonhalterna erhållna med TAPM-modellen berodde även på att de var beräknade som medelvärden på månadsbasis, samt den grova spatiala skalan på 5x5 km. Stora generaliseringar av ozonhalten kan även ges för områden med stora skillnader i deposition.

TAPM-modellen beräknade fram ozonhalter för två olika höjder, 2 och 10m för åren 2000, 2001 och 2002. Årmedelvärden för marknära ozon på 2 m respektive 10m höjd för åren 2000-2002 presenteras i figur 6 respektive figur 7. De högsta årsmedelhalterna av ozon inträffade år 2002, både för 2 och 10 m. Högsta ozonhalterna, ca 38 ppb beräknades för sydvästra och nordöstra Värmland. I figurerna 8-10 presenteras månadsmedelvärden för 2 m för åren 2000-2002. Figurerna redovisar beräknade ozonhalter för maj-juli, vilket representerar växstsäsongen för grödor. De högsta ozonhalterna beräknades för juni 2002, ca 37 ppb. I figurerna 11-16 redovisas beräknade ozonhalter på 10 m för månaderna april-september (växstsäsongen för skog), åren 2000-2002. De högsta beräknade ozonhalterna inträffade i maj 2001 och maj-juni 2002, ca 41 ppb. Generellt var den modellerade ozonhalten lägre vid 2 m jämfört med 10 m (jämför figur 4). Även här inträffade de högsta beräknade ozonhalterna sydvästra och nordöstra Värmland. I början av växstsäsongen (maj-juni) inträffade de högsta ozonhalterna, då är solen som starkast och temperaturen ökar vilket gynnar ozonbildningen. Samtidigt har inte växterna utvecklats färdigt och deras biomassa är mindre än i slutet av växstsäsongen, vilket bidrar till ett mindre upptag av ozon. Det senare har dock en mindre påverkan av ozonkoncentrationen i luften. De beräknade halterna är något högre i norra Värmland än i södra delarna av länet. Skillnaderna är små; bara 2-3 ppb varför det är svårt att säkert avgöra orsakerna. Faktorer som är tänkbara orsaker är att den högre altituden i norr ger gögre halter medan de södra delarna påverkas av närheten till Väneren och en tätare bebyggelse och tätare trafik – faktorer som ger lägre halter av ozon.

Trots att trafiken är en av de stora bidragande orsakerna till bildandet av ozon, är ozonhalterna lägre runt tätorter och vägar. Utsläppen av kväveoxider och kolväten förbrukar istället ozonet lokalt och effekterna inträffar istället på andra ställen långt ifrån ursprungskällan. Detta gör att

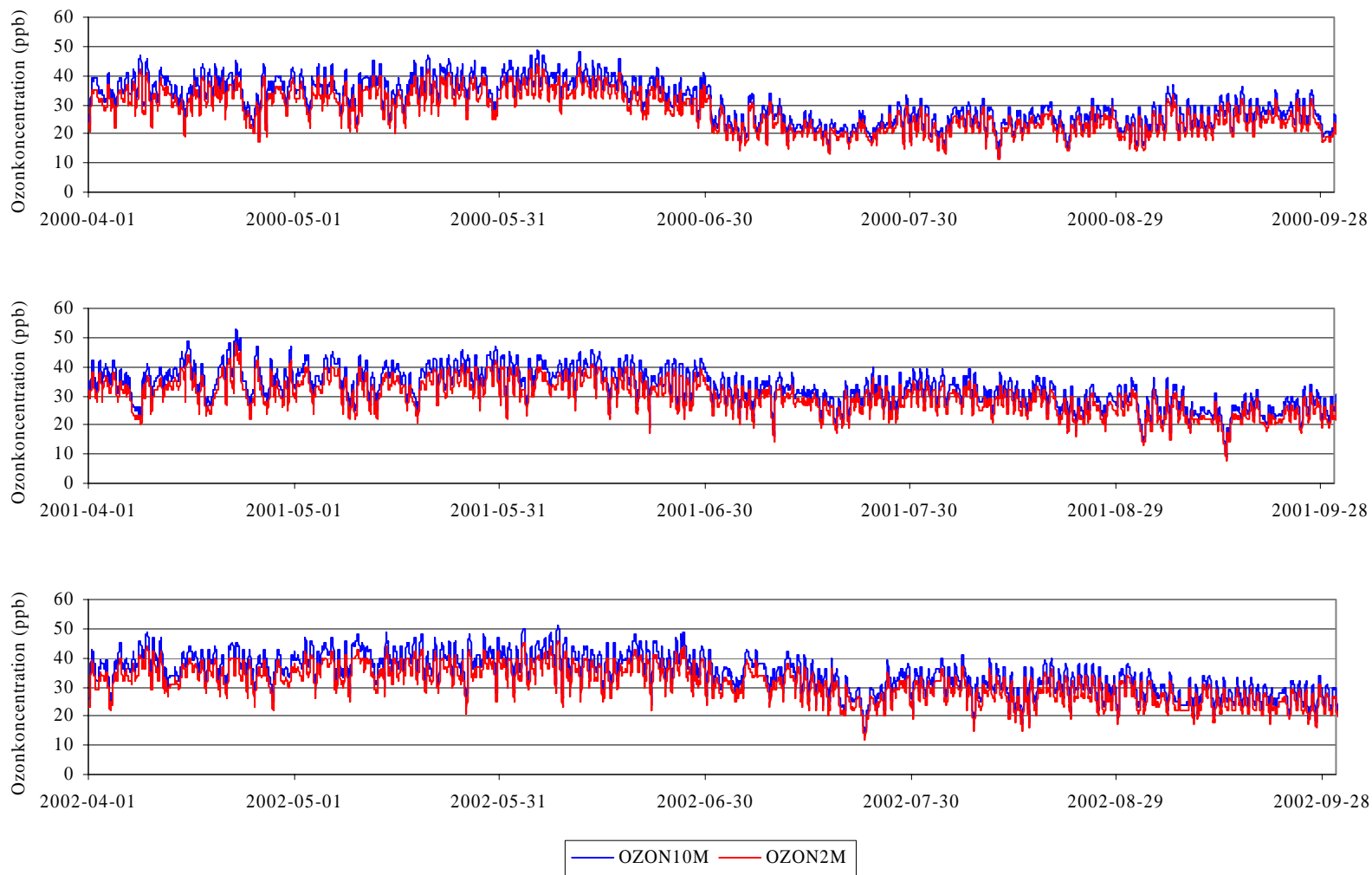
ozonproblematiken blir ett regionalt, även ett globalt problem. Variationen av ozonhalter varierar inte bara under året. Vissa väderförhållanden, extremt soliga och varma dagar, tillsammans med oftast sydliga vindar kan ge ozonepisoder, dvs. korta och höga ozonhalter. Exempel på sådana dagar kan vara då de högsta beräknade ozonhalterna för Värmland inträffade (figur 17-19). Den 22 april 2001 beräknades de högsta ozonhalterna för Värmland, 47 ppb i östra Värmland. Ozonepisoden varade bara några dagar.

TAPM-modellen beräknade fram ozonhalter för två olika höjder, 2 och 10m, vilket kan användas för att beräkna skördeförstuster inom jordbruket respektive beräkna tillväxtminskningar i produktiv skogsmark orsakat av marknära ozon. Då modellen systematiskt underskattar ozonhalten vilket medförde låga AOT40-index kunde ingen uppskattning av skördeförstuster eller tillväxtminskningar beräknas på ett tillförlitligt sätt. Dock tyder mätningarna vid Niklasdamm att en negativ effekt både på grödor och skog orsakat av marknära ozon kan förväntas. Kompletterande lokala mätningar kan fånga in de korta och höga ozonepisoderna, vilket skulle ge en bättre bild av ozonets effekter på vegetationen i Värmlands län.

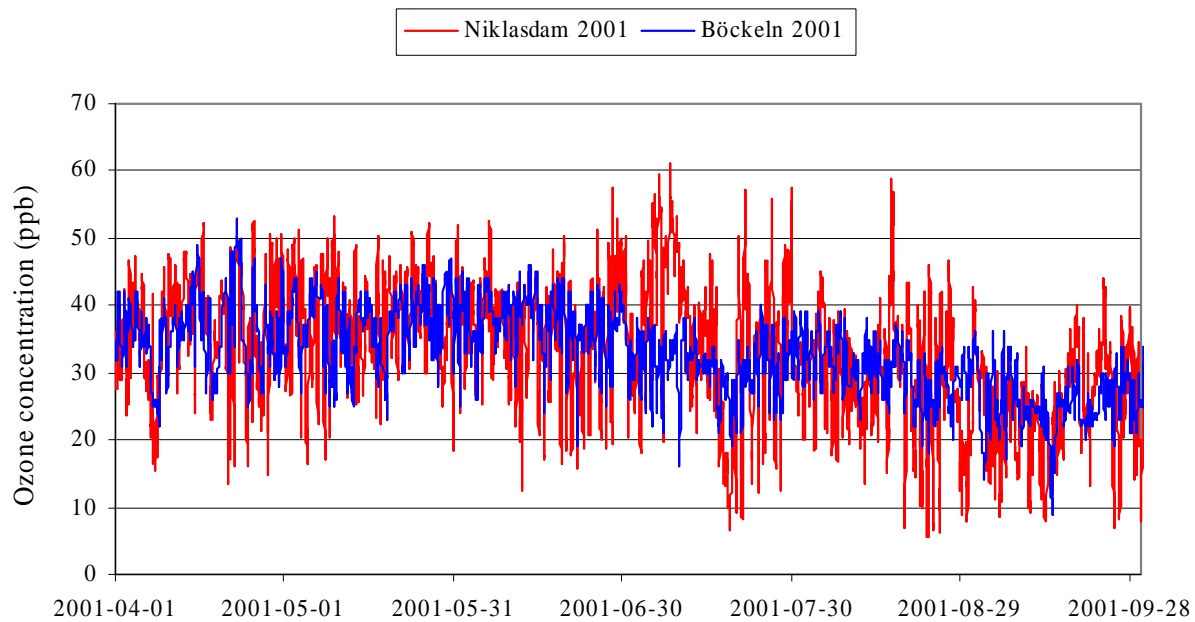
Modellering av ozonbelastningen har visat att TAPM-modellen på ett bra sett kan simulera dygnsvariationer, säsongvariationer, geografisk fördelning och deposition mm., men att den underskattar haltnivån. Om faktiska bakgrundshalter skulle inkluderas i modellen skulle modelleringen av ozonhalterna sannolikt även fånga in episoder och därmed också reflektera haltnivåerna på ett mer korrekt sätt. Framtida studier bör inriktas på mätkampanjer, helst med kontinuerliga mätningar på timbasis, där ozonhalterna mäts på olika höjder över marknivån på särskilt kritiska lokaler längs gradienter där TAPM-modellen förutsäger särskilt stora förändringar på korta geografiska sträckor, framför allt på högre höjder i länet. Kontinuerliga mätningar på hög höjd utförs inte idag på många lokaler, varken i länet eller i Sverige, vilket skulle stärka TAPM-modellens beräkningar och uppskattningar av ozonhalterna i Värmlands län

Tabell 2. AOT40 presenteras för fyra lokaler i Värmlands län, Södra Averstad, Böckeln, Blåbärskullen och Transtrandsberget. AOT40 är beräknat för perioden april-september 2000-2002 dagtid.

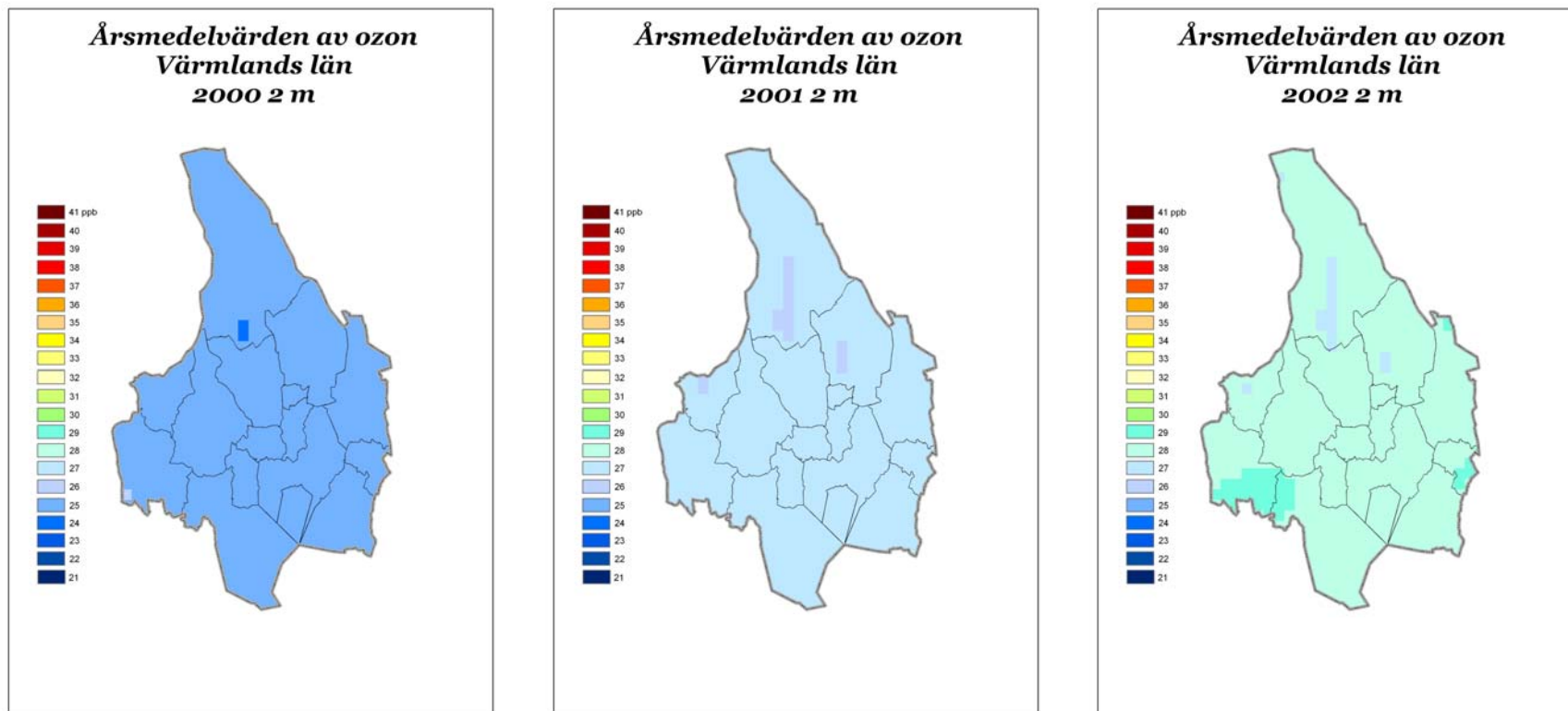
| Lokal | AOT40 (ppb) | | |
|-------------------|-------------|------|------|
| | 2000 | 2001 | 2002 |
| Blåbärskullen | 1228 | 1560 | 3207 |
| Södra Averstad | 1338 | 1606 | 2691 |
| Transtrandsberget | 1302 | 1650 | 3527 |
| Böckeln | 1352 | 1749 | 3413 |



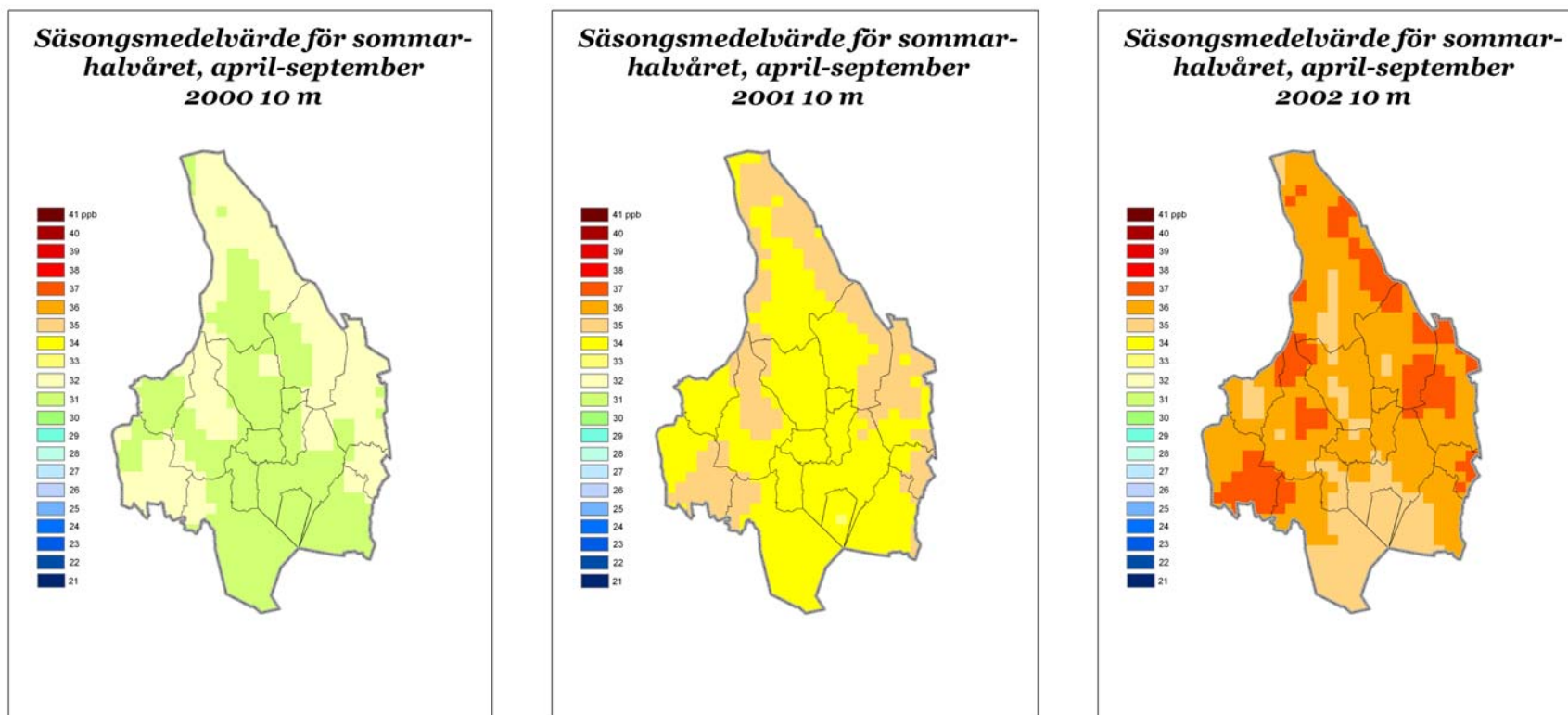
Figur 4. Modellerade ozonhalter som timmedelvärden med TAPM-modellen för Bockeln för perioden april-september 2000-2002.



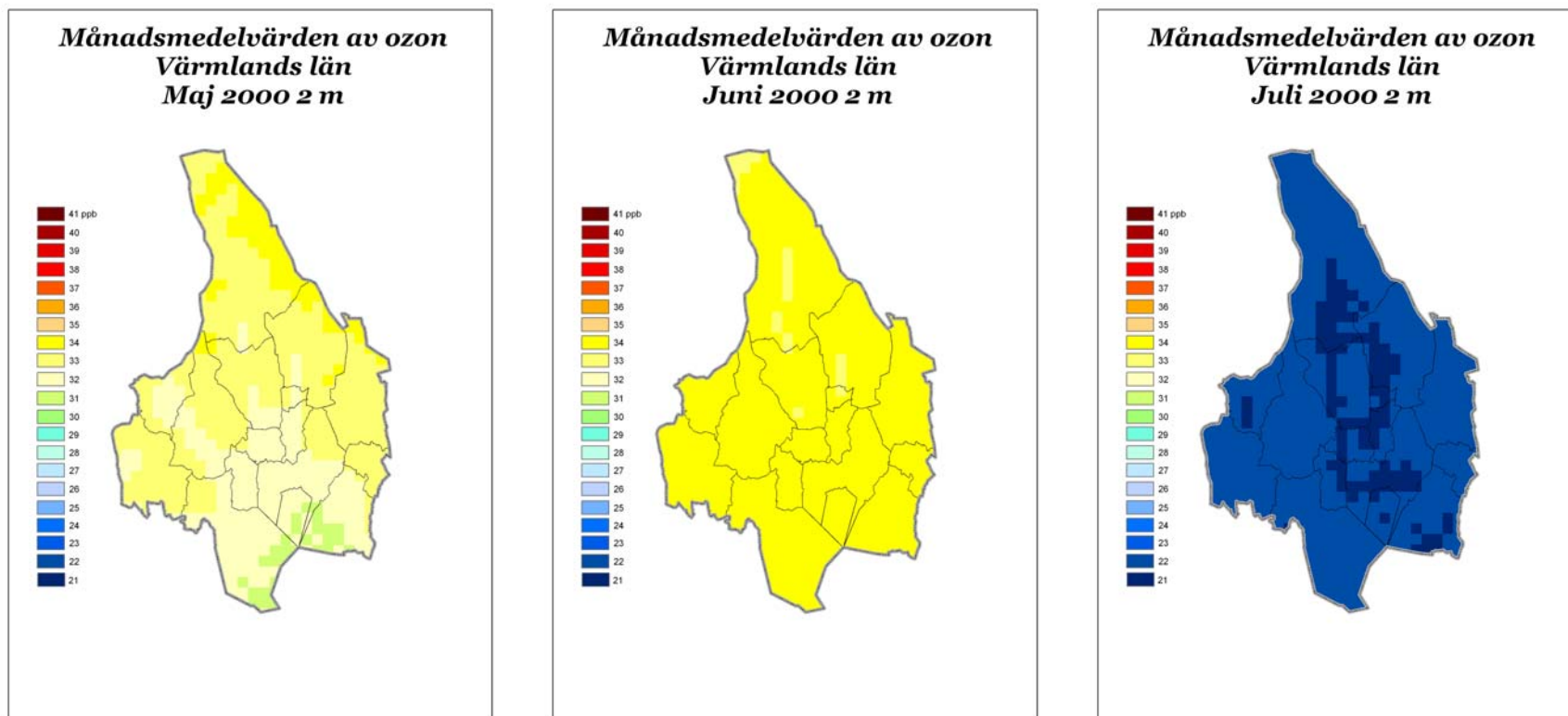
Figur 5. Jämförelse mellan modellerad ozonhalt med TAPM-modellen för Böckeln och kontinuerlig mätning av ozonhalt vid Niklasdamm för året 2001 (timmedel).



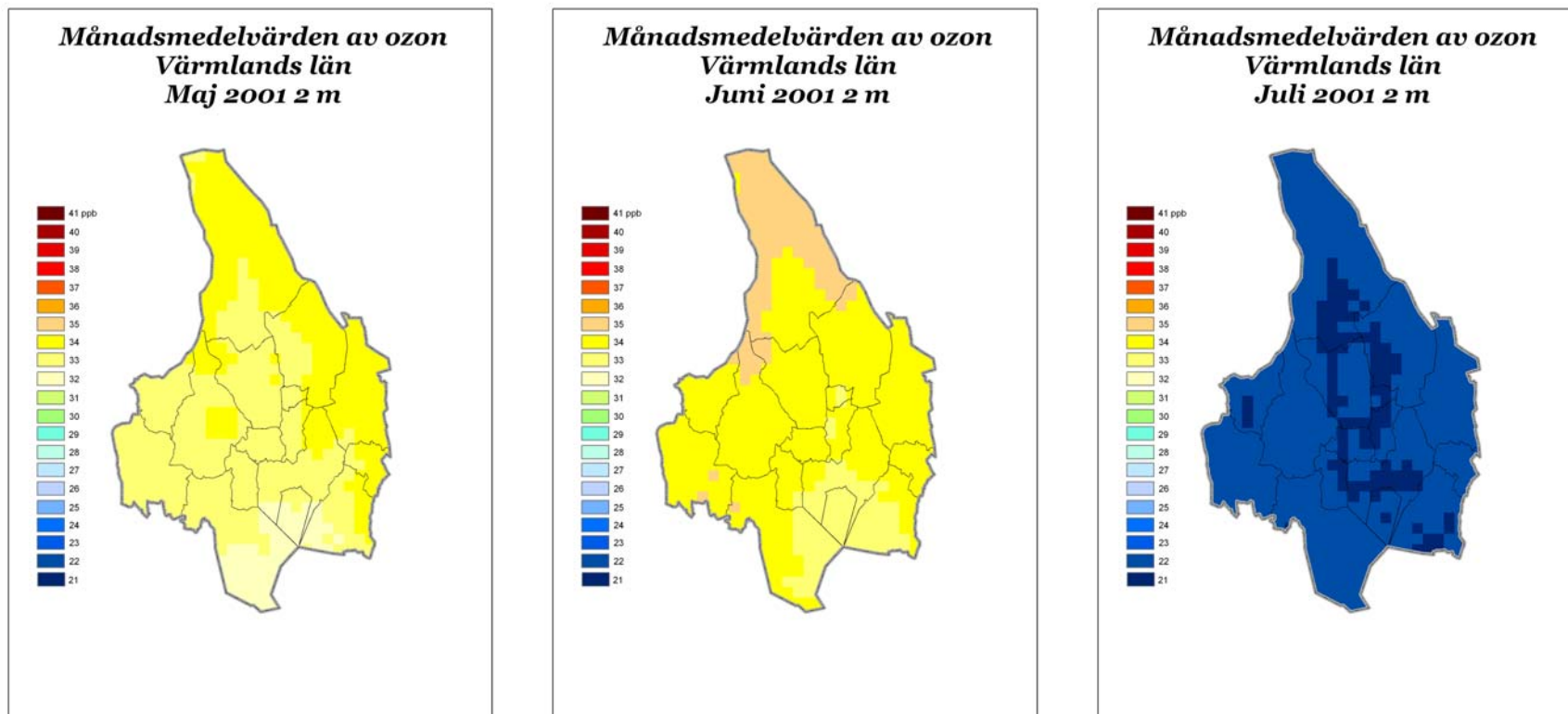
Figur 6. Årsmedelvärden av marknära ozon på 2 m höjd i Värmlands län för åren 2000-2002. Ozonhalterna är framtagna med en lokalmetreologisk- och luftkemiskmodell (TAPM-modellen) av IVL, Svenska Miljöinstitutet AB och bearbetade av Karlstads universitet.



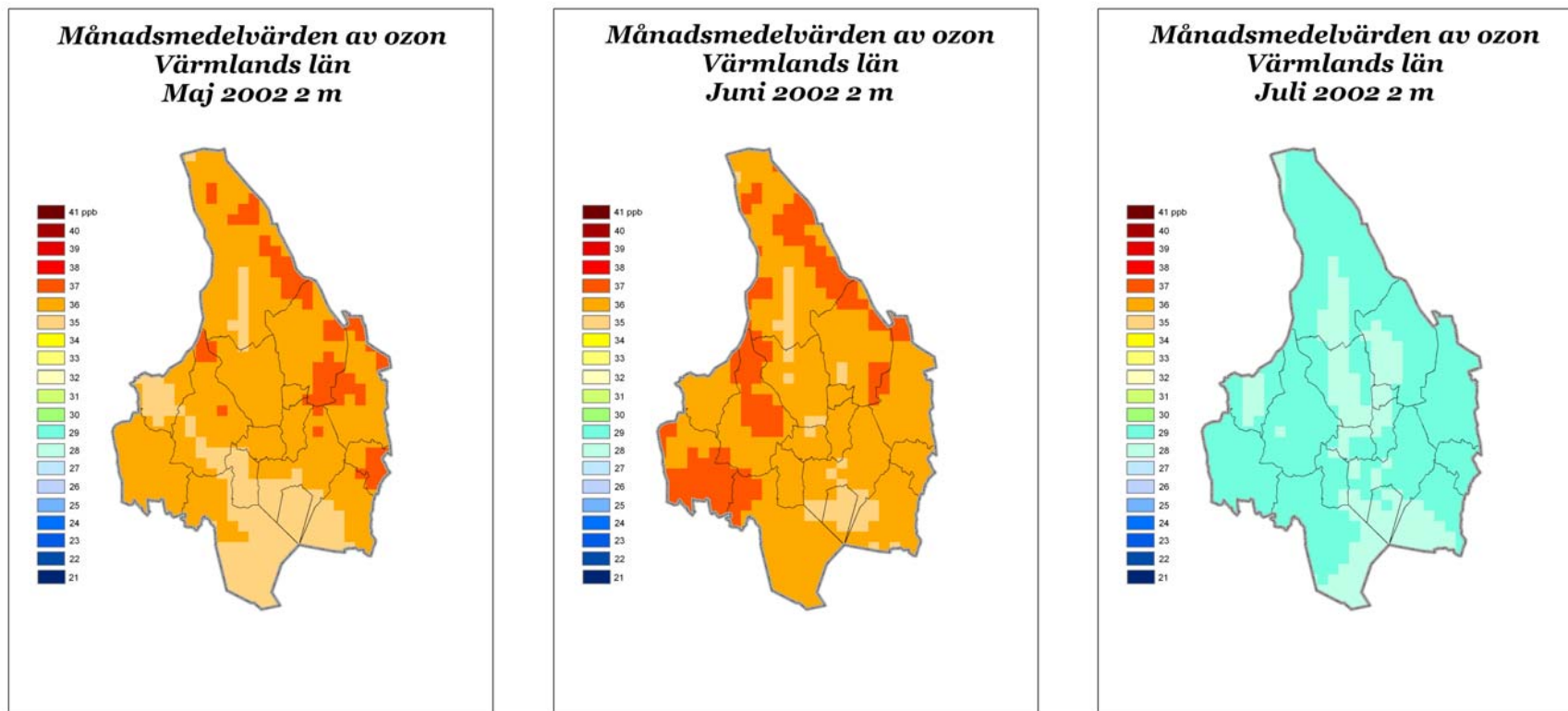
Figur 7. Årsmedelvärden av marknära ozon på 10 m höjd i Värmlands län för åren 2000-2002. Ozonhalterna är framtagna med en lokalmetreologisk- och luftkemiskmodell (TAPM-modellen) av IVL, Svenska Miljöinstitutet AB och bearbetade av Karlstads universitet.



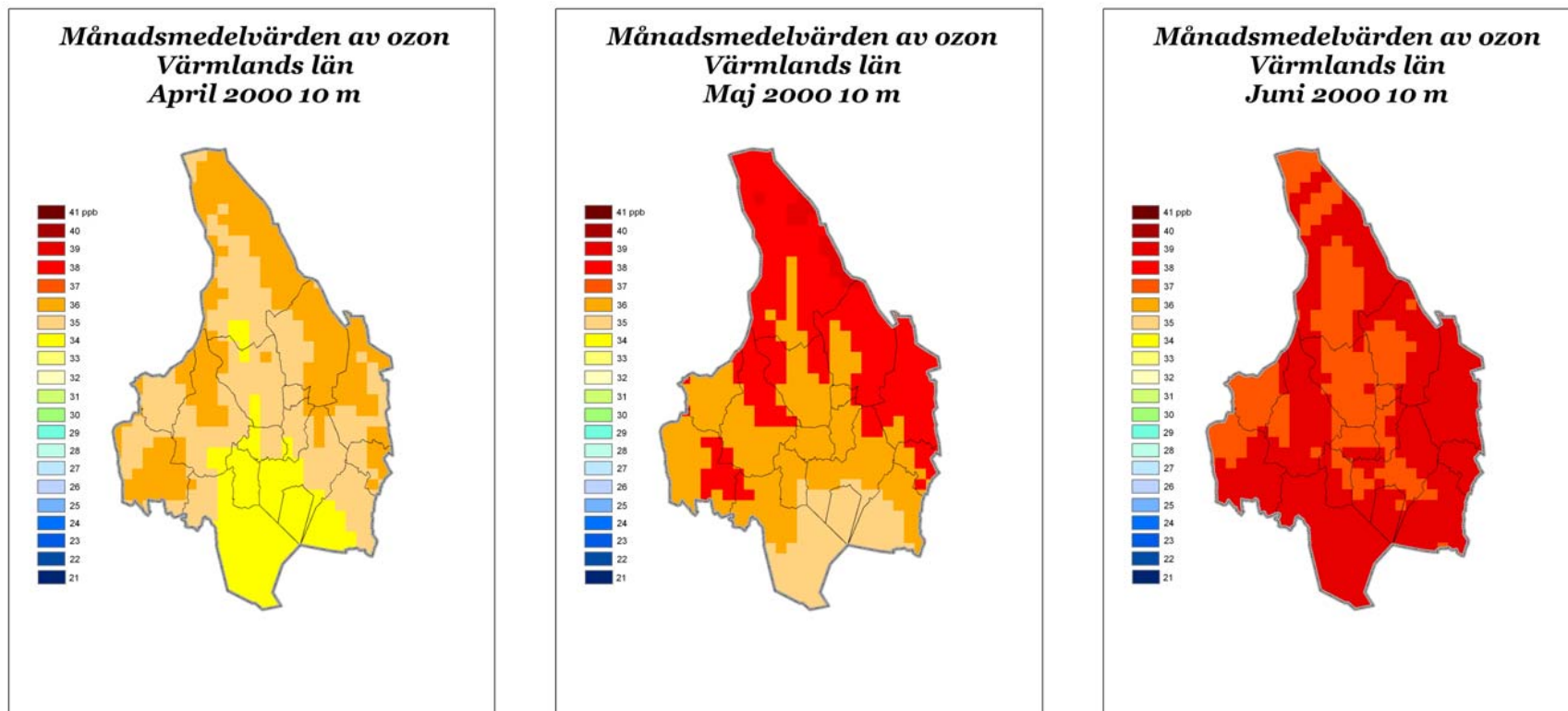
Figur 8. Månadsmedelvärden av marknära ozon på 2m höjd i Värmlands län för maj-juli 2000. Ozonhalterna är framtagna med en lokalmetreologisk- och luftkemiskmodell (TAPM-modellen) av IVL, Svenska Miljöinstitutet AB och bearbetade av Karlstads universitet.



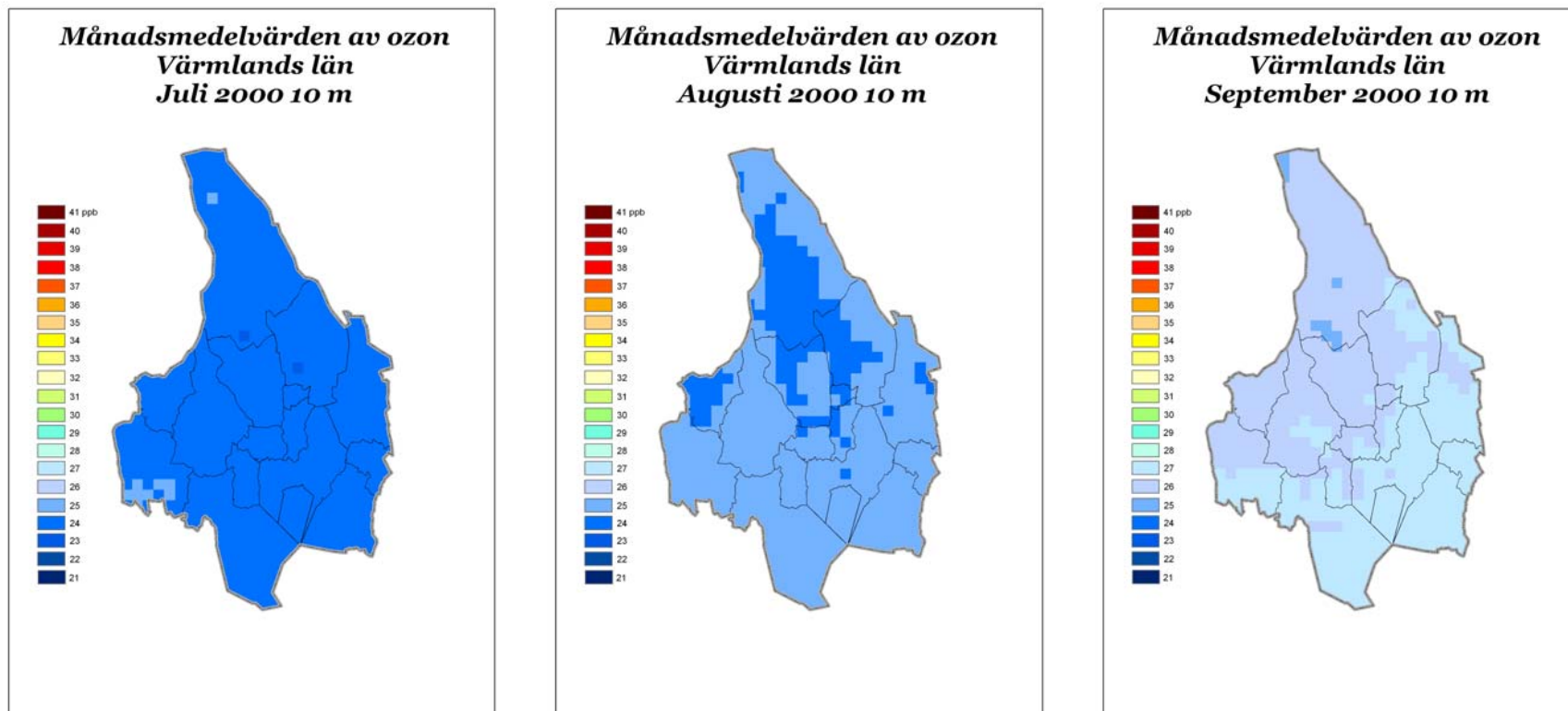
Figur 9. Månadsmedelvärden av marknära ozon på 2m höjd i Värmlands län för maj-juli 2001. Ozonhalterna är framtagna med en lokalmetreologisk- och luftkemiskmodell (TAPM-modellen) av IVL, Svenska Miljöinstitutet AB och bearbetade av Karlstads universitet.



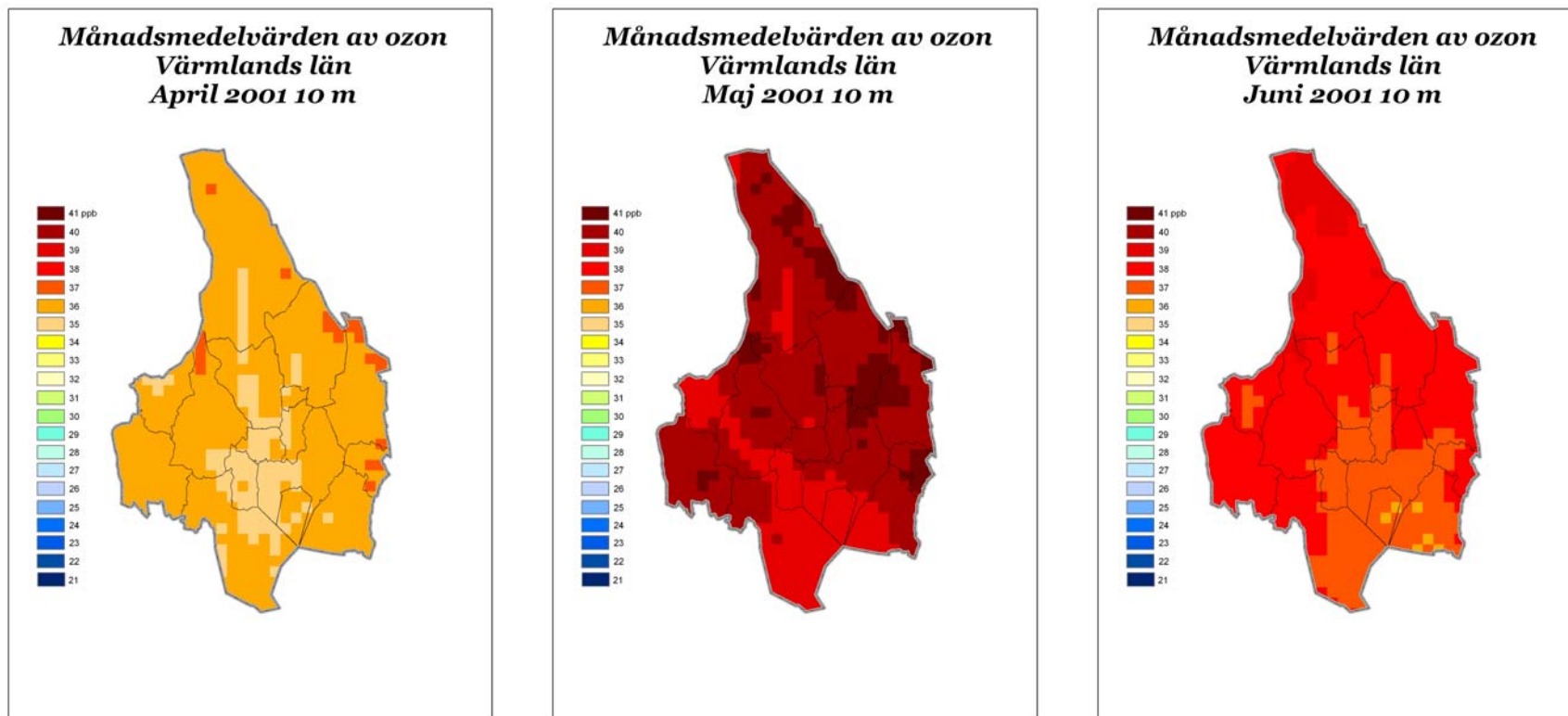
Figur 10. Månadsmedelvärden av marknära ozon på 2m höjd i Värmlands län för maj-juli 2002. Ozonhalterna är framtagna med en lokalmetreologisk- och luftkemiskmodell (TAPM-modellen) av IVL, Svenska Miljöinstitutet AB och bearbetade av Karlstads universitet.



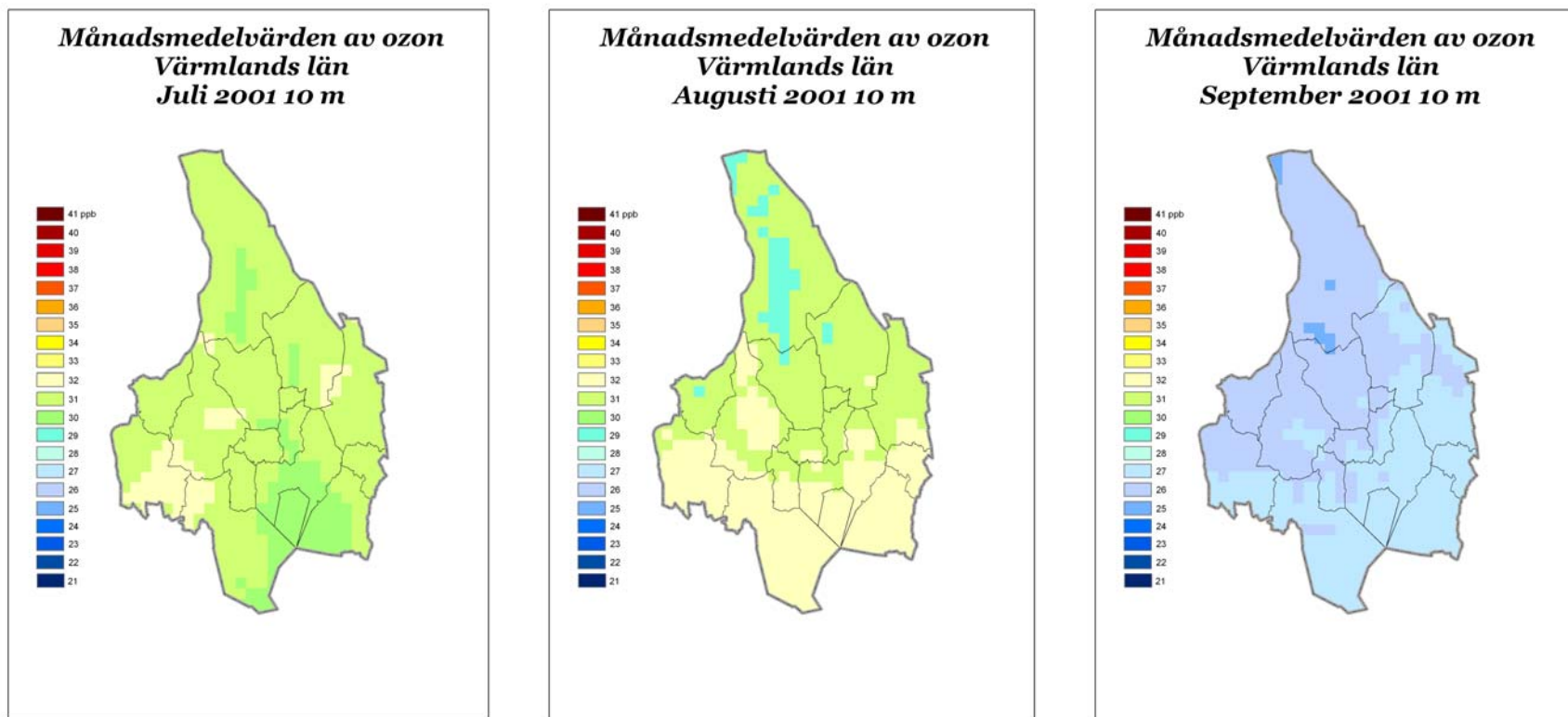
Figur 11. Månadsmedelvärden av marknära ozon på 10 m höjd i Värmlands län för april-juni 2000. Ozonhalterna är framtagna med en lokalmetreologisk- och luftkemiskmodell (TAPM-modellen) av IVL, Svenska Miljöinstitutet AB och bearbetade av Karlstads universitet.



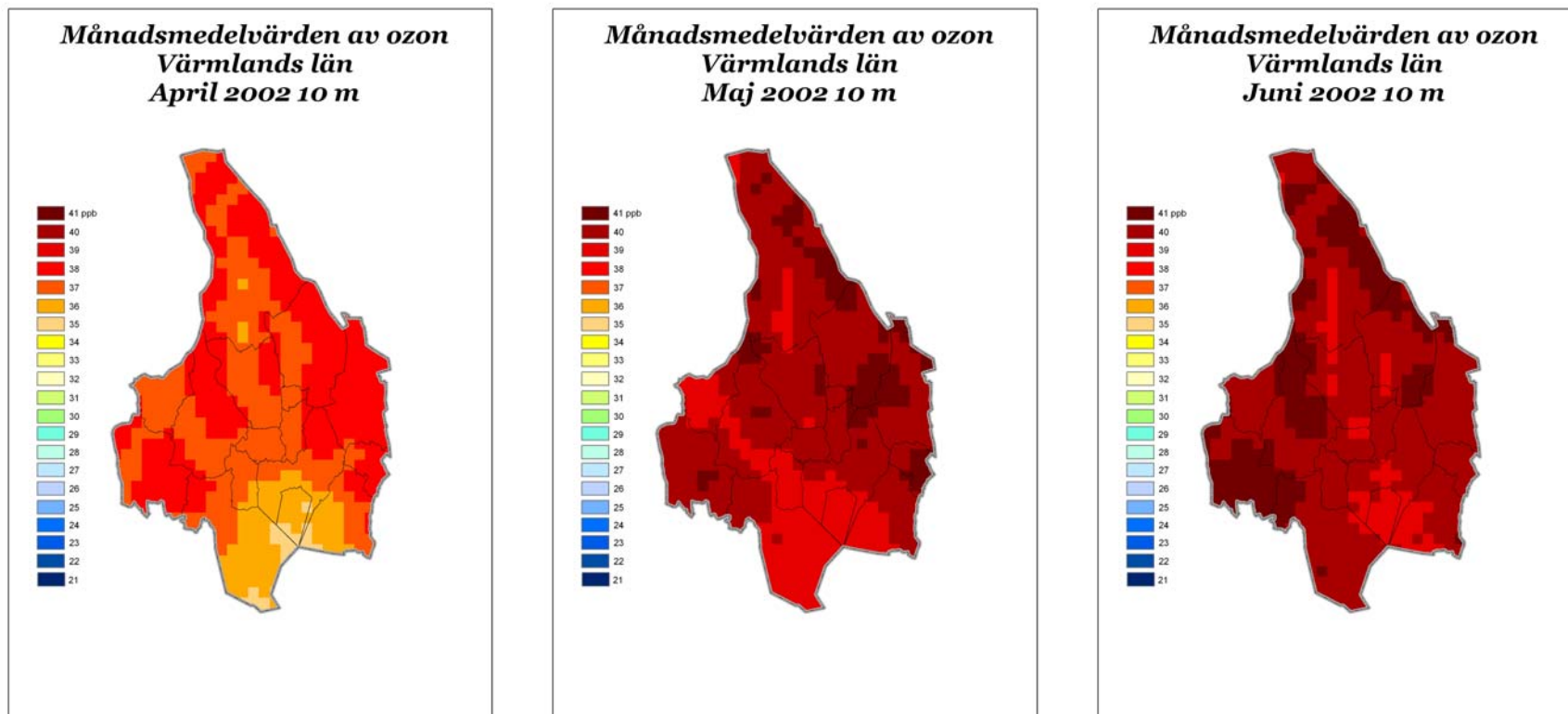
Figur 12. Månadsmedelvärden av marknära ozon på 10 m höjd i Värmlands län för juli-september 2000. Ozonhalterna är framtagna med en lokalmeteorologisk- och luftkemiskmodell (TAPM-modellen) av IVL, Svenska Miljöinstitutet AB och bearbetade av Karlstads universitet.



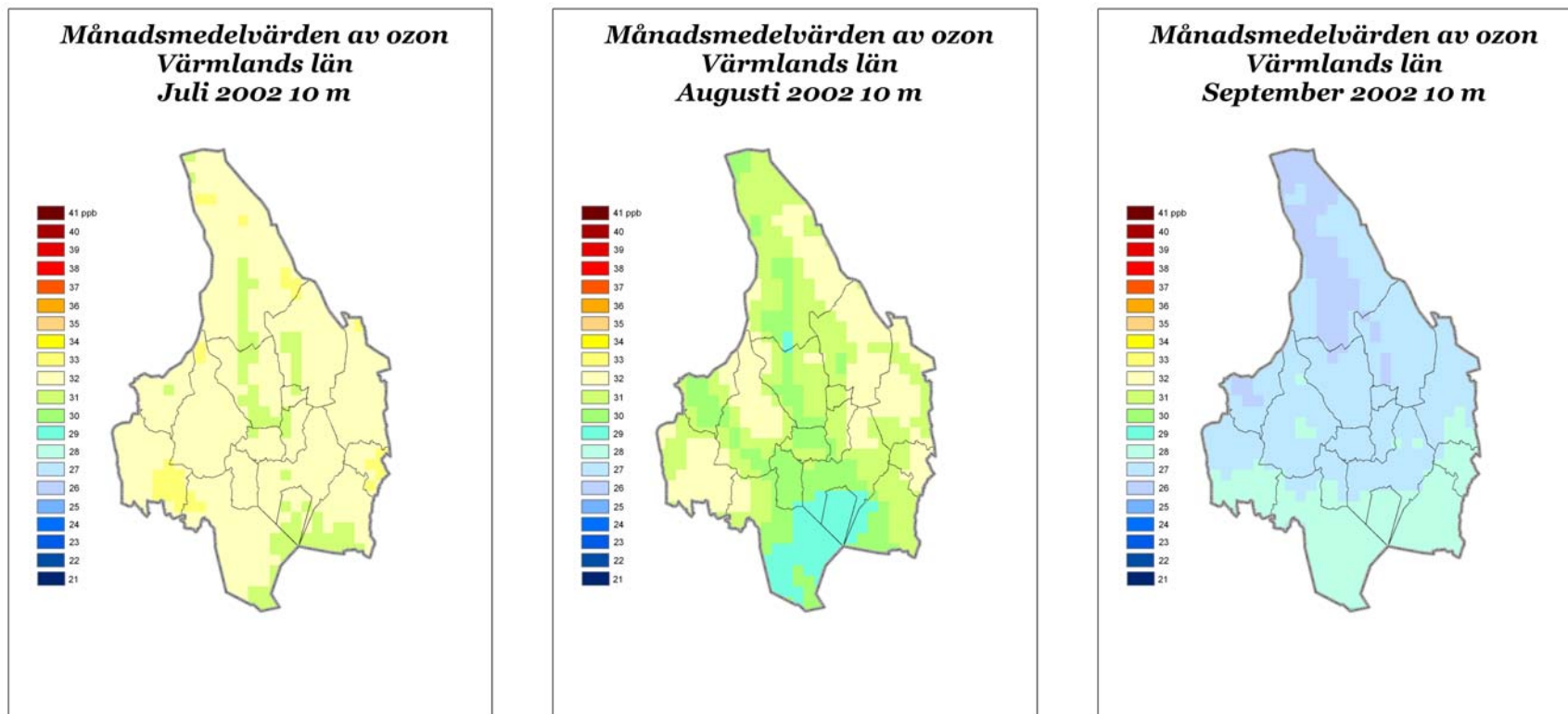
Figur 13. Månadsmedelvärden av marknära ozon på 10 m höjd i Värmlands län för april-juni 2001. Ozonhalterna är framtagna med en lokalmetreologisk- och luftkemiskmodell (TAPM-modellen) av IVL, Svenska Miljöinstitutet AB och bearbetade av Karlstads universitet.



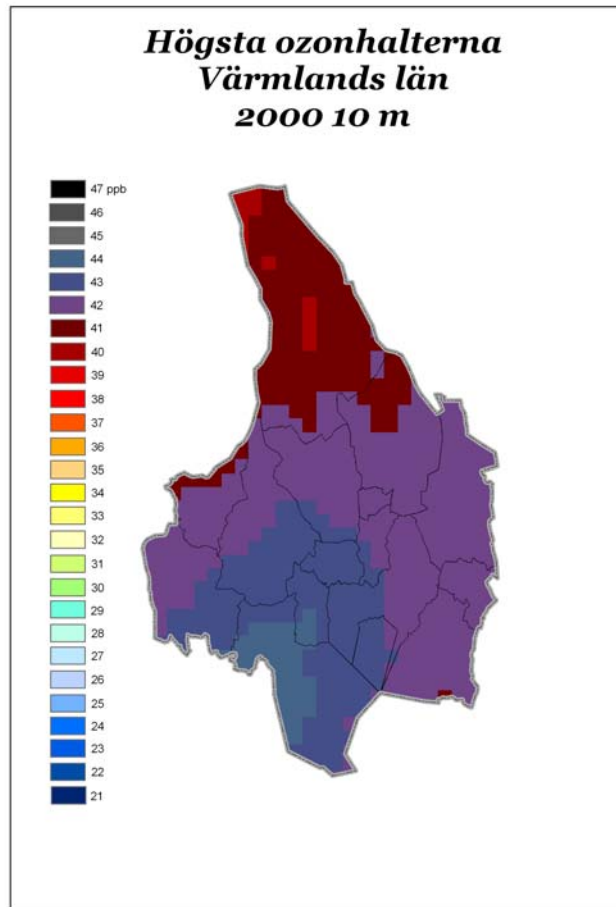
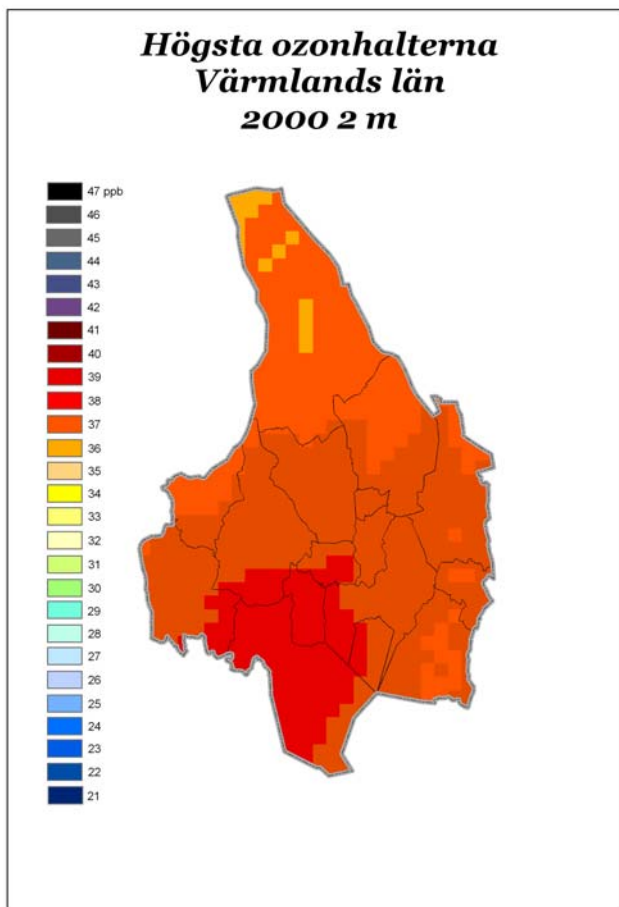
Figur 14. Månadsmedelvärden av marknära ozon på 10 m höjd i Värmlands län för juli-september 2001. Ozonhalterna är framtagna med en lokalmetreologisk- och luftkemiskmodell (TAPM-modellen) av IVL, Svenska Miljöinstitutet AB och bearbetade av Karlstads universitet.



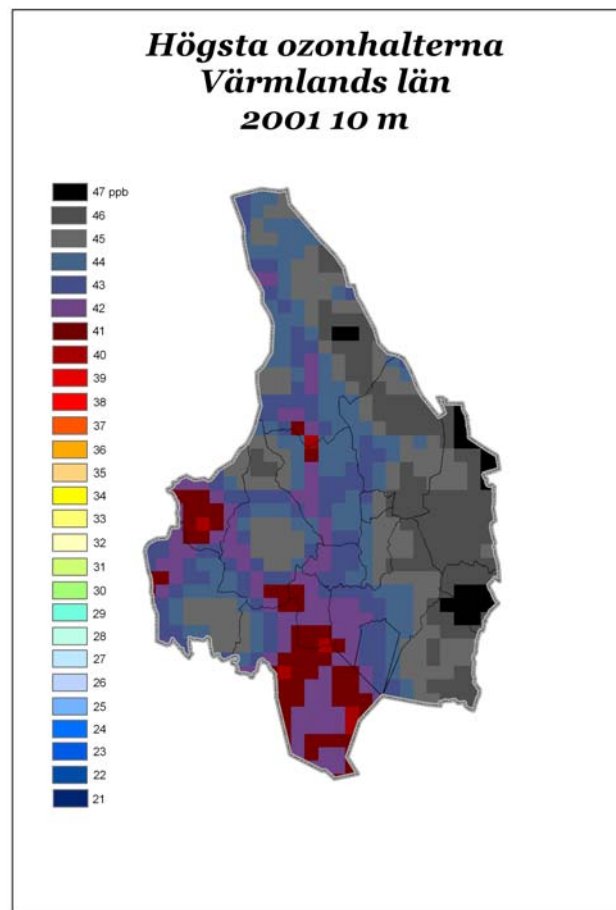
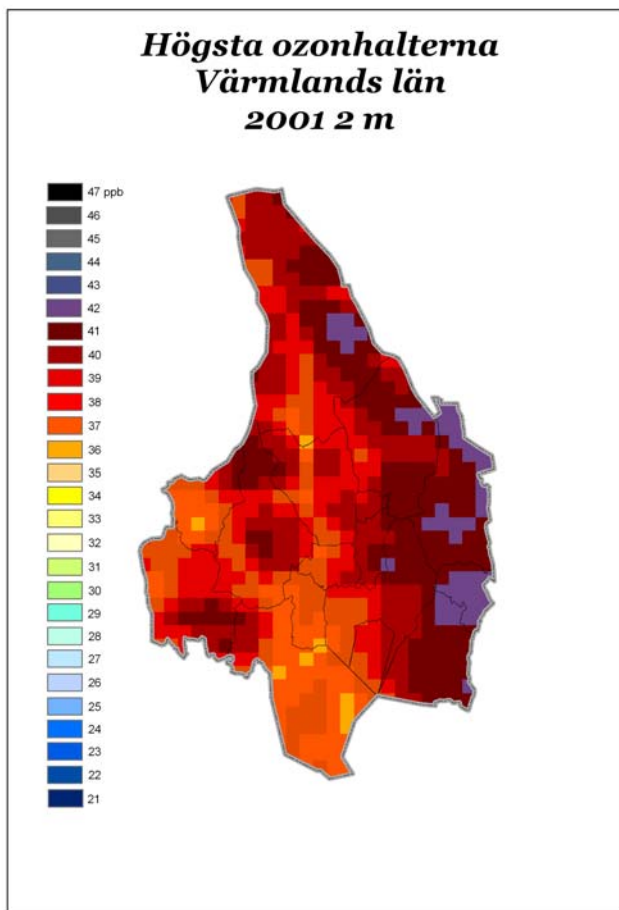
Figur 15. Månadsmedelvärden av marknära ozon på 10 m höjd i Värmlands län för april-juni 2002. Ozonhalterna är framtagna med en lokalmetreologisk- och luftkemiskmodell (TAPM-modellen) av IVL, Svenska Miljöinstitutet AB och bearbetade av Karlstads universitet.



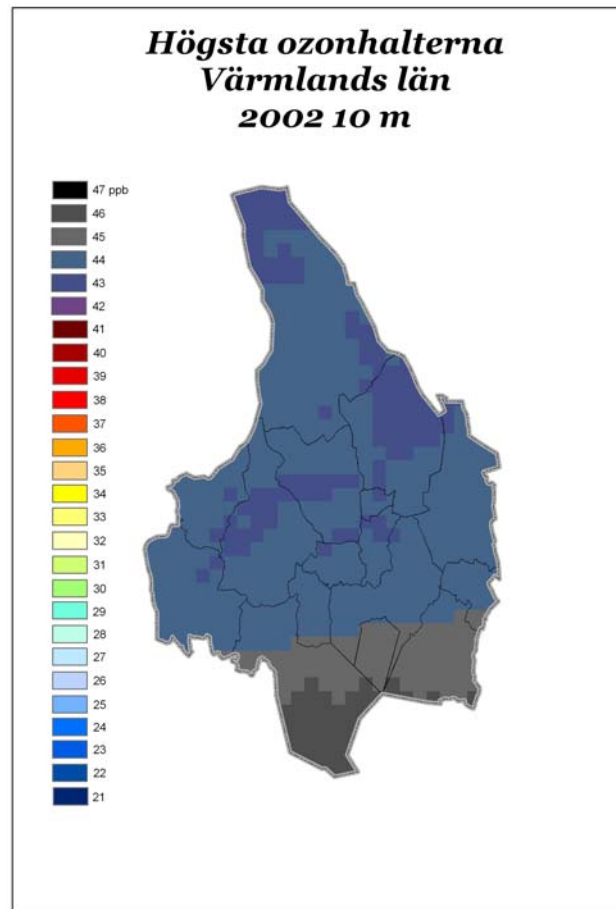
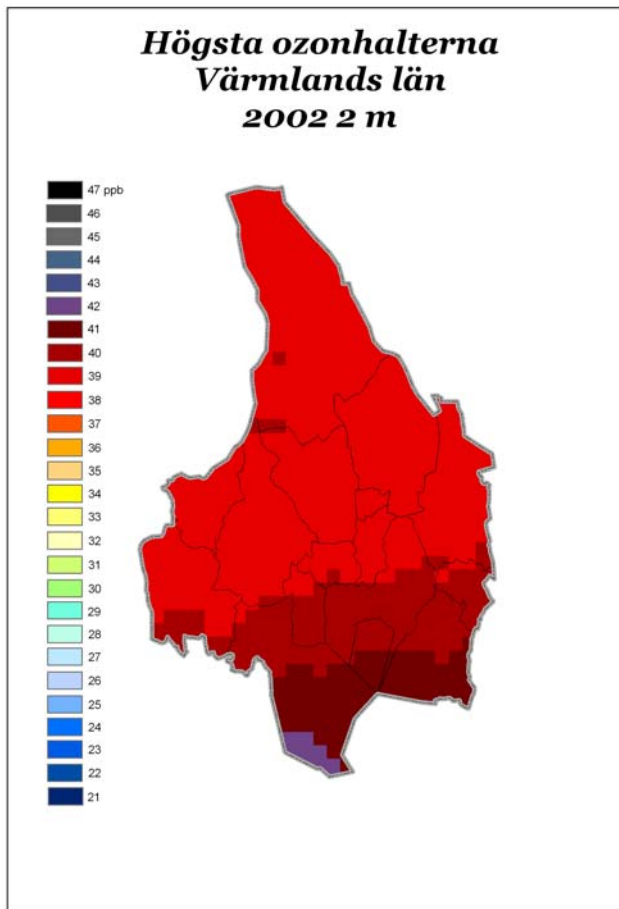
Figur 16. Månadsmedelvärden av marknära ozon på 10 m höjd i Värmlands län för juli-september 2002. Ozonhalterna är framtagna med en lokalmetreologisk- och luftkemiskmodell (TAPM-modellen) av IVL, Svenska Miljöinstitutet AB och bearbetade av Karlstads universitet.



Figur 17. De högsta beräknade ozonhalterna med TAPM-modellen för år 2000 inträffade 11 juni, ca 41 ppb i norra Värmland (10m).



Figur 18. De högsta beräknade ozonhalterna med TAPM-modellen för år 2001 inträffade 22 april, ca 47 ppb i östra Värmland (10m).



Figur 19. De högsta beräknade ozonhalterna med TAPM-modellen för år 2002 inträffade 19 juni, ca 45 ppb i södra Värmland (10m).

Referenser

- Danielsson, H., G. Pihl Karlsson, P.E. Karlsson and H. Pleijel 2003. Ozone uptake modelling and flux-response relationships - an assessment of ozone-induced yield loss in spring wheat. *In Atmospheric Environment*, pp. 475-485.
- Fuhrer, J., L. Skarby and M.R. Ashmore 1997. Critical levels for ozone effects on vegetation in Europe. *In Environmental Pollution*, pp. 91-106.
- Hansson, M., P.E. Karlsson and H.-O. Höglund 2003. Measuring stomatal conductance in needles of mature Norway spruce (*Picea abies*) trees under field conditions in a boreal forest in mid-Sweden. *In IVL Report B 1523 - Estblishing Ozone Critical Levels II, UNECE Workshop Report*.
- Hurley, P. 2002. The Air Pollution Model (TAPM) Version 2. Part 1: Technical Description. *In CSIRO Atmospheric Research Technical Paper No.55*.
- Hurley, P., W.L. Physick and A.K. Luhar 2002. The Air Pollution Model (TAPM) Version 2. Part 2: Summary of Some Serification Studies. *In CSIRO Atmospheric Research Technical Paper No.57*.
- Johnson, C.E., D.S. Stevenson, W.J. Collins and R.G. Derwent 2001. Role of climate feedback on methane and ozone studied with a coupled Ocean-Atmosphere-Chemistry model. *In Geophysical Research Letters*, pp. 1723-1726.
- Karlsson, P.E., E.L. Medin, G. Sellden, G. Wallin, S. Ottosson, H. Pleijel and L. Skärby 2002a. Impact of ozone and reduced water supply on the biomass accumulation of Norway spruce saplings. *In Environmental Pollution*, pp. 237-244.
- Karlsson, P.E., H. Pleijel, M. Belhaj, H. Danielsson, B. Dahlin, M. Andersson, M. Hansson, J. Munthe and P. Grennfelt 2005. An economic assessment of the negative impacts of ozone on crop yield and forest production at the estate Östads Säteri in south-west Sweden. *In Ambio* (Submitted).
- Karlsson, P.E., J.-P. Tuovinen, D. Simpson, T.N. Mikkelsen and H. Ro-Poulsen 2002b. Ozone Exposure Indices for ICP-Forest Observation Plots within the Nordic Countries. Final Project Report. *In IVL Report B 1498*.
- Matyssek, R. and J.L. Innes 1999. Ozone: a risk factor for trees and forests in Europe? *In Water Air Soil Pollution*, pp. 199-226.
- Samuelson, L.J. and J.M. Kelly 2001. Scaling ozone effects from seedlings to forest trees. *In New Phytologist*, pp. 21-41.
- Skärby, L., H. Ro-Poulsen, F.A.M. Wellburn and L.J. Sheppard 1998. Impacts of ozone on forests: a European perspective. *In New Phytologist*, pp. 109-122.
- Skärby, L., G. Wallin, G. Selldén, P.E. Karlsson, S. Ottosson, S. Sutinen and P. Grennfelt 1995. Tropospheric ozone - a stress factor for Norway spruce in Sweden. *In Ecological Bulletins (Copenhagen)*, pp. 133-146.
- Uddling, J., M.S. Günthardt-Georg, R. Matyssek, E. Oksanen, H. Pleijel, G. Sellden and P.E. Karlsson 2004. Biomass reduction of juvenile birch is more strongly related to stomatal uptake of ozone than to indices based on external exposure. *In Atmospheric Environment*, pp. 4709-4719.
- Uggla, E. 2003. Övervakning av luftföroreningar i Värmlands län. Resultat till och med september 2003. IVL-rapport B 1562.
- Walldorf, A. and D. Cederborg 2003. Miljötillståndet i Värmlands län 2001. Länsstyrelsen Värmland, Karlstad.