

Lunds Universitets Naturgeografiska Institution

Seminarieuppsatser Nr. 75

En analys av nattliga koldioxidflöden i en boreal barrskog avseende spatial och temporal variation



Henrik Uggla

2000



Department of Physical Geography,
Lund University
Sölvegatan 13, S-221 00 Lund,
Sweden



Abstract

Carbon dioxide in the atmosphere contributes to the greenhouse effect, which is essential to life on our planet. Furthermore, it plays an important part of the photosynthesis and respiration of the world's organisms. Since the start of the industrial revolution the amount of carbon dioxide in the atmosphere has increased exponentially. The main source is the extensive burning of fossil fuels. If the amount of carbon dioxide in the atmosphere grows even more it will increase the greenhouse effect and cause global climatic change. Fortunately, there is a "missing sink" slowing down the atmospheric increase of carbon dioxide. Most likely the "missing sink" is related to the biosphere.

The purpose of this work was to analyse nighttime carbon dioxide fluxes from a boreal coniferous forest, and to map its spatial and temporal variations. The measurements used in the analysis were collected in Norunda (just north of Uppsala, Sweden) between 1994 and 1998 as part of the NOPEX-project.

The analysis showed an exponential correlation between the carbon flux and the air temperature ($r^2=0.43$, $Q_{10}=2.94$). No evident connection between the carbon flux and the atmospheric stability was found. During single summer nights there were frequently strong variations in the measured carbon fluxes that could not be explained by variations in temperature. These variations occurred also when atmospheric mixing was adequate with friction velocities above 0.4 m/s. There appeared four distinctly different wind direction sectors that showed significantly different respiration levels. These sectors were weakly correlated to differences in stand properties. A PLS-model for the carbon flux was created with several predictors. The model gave only slightly better results ($r^2=0.47$) compared with estimates from temperature alone.

For an eventual follow-up data should be complemented with soil temperatures plus field exams of the four observed wind sectors. The footprints of the carbon fluxes should also be mapped.

Innehållsförteckning

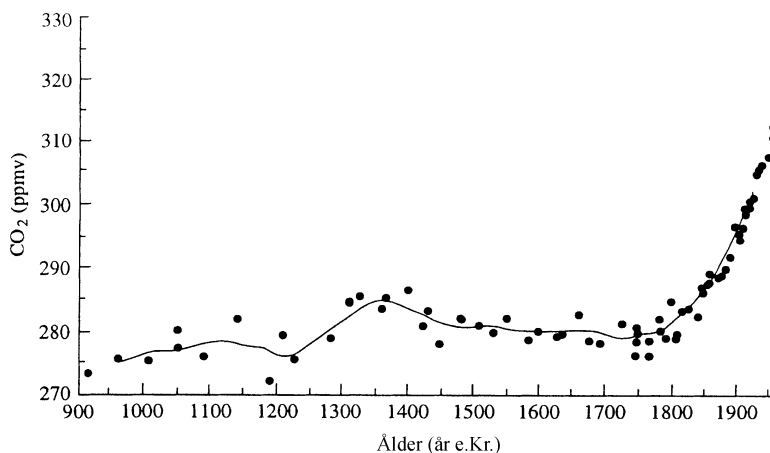
Bakgrund	4
Syfte.....	7
Material och metoder	8
Flödesmätningar med eddy correlation-tekniken	10
Resultat	10
Diskussion	14
Slutsats	15
Tillkännagivanden	15
Referensförteckning.....	15
Appendix	18

Bakgrund

Av den strålning som solen avger utgör merparten kortvågig strålning. En del av denna strålning träffar jorden som då värms upp. Jorden, som är betydligt svalare än solen, avger i sin tur långvågig infraröd strålning. I atmosfären absorberas en stor del av den långvågiga strålningen av vissa gaser, framförallt vattenånga och koldioxid. Gaserna återstrålar en del av den absorberade energin mot jorden som då värms ytterligare. Denna isolerande effekt som jordens atmosfär har kallas i allmänna ordalag för växthuseffekten. Utan växthuseffekten skulle medeltemperaturen på jorden ligga flera tiotals grader lägre och möjligheterna till liv på jorden skulle vara starkt begränsade (Ahrens 1994).

Förutom att koldioxid bidrar till den livsnödvändiga växthuseffekten så ingår gasen även i fotosyntesen. Fotosyntesen gör det möjligt för växter och vissa mikroorganismer att ta tillvara på en del av solens kortvågiga strålning och använda den som energi i den egna uppbyggnaden. Till uppbyggnaden används koldioxid och vatten som med energins hjälp omvandlas till långa kolnedjor som i sin tur bildar vävnaden hos organismen. Koldioxiden som behövs för reaktionen tas i regel direkt från luften. Koldioxid ingår även i respirationen hos de flesta av världens organismer, men då som en restprodukt. Genom att oxidera vissa kolnedjor med syre kan växter och djur ta tillvara på den solenergi som upplagrats under fotosyntesen. Som restprodukt vid förbränningen avges koldioxid åter till atmosfären.

Innan uppkomsten av fotosyntetiserande växter på jorden balanserades koldioxidhalten i atmosfären i huvudsak av utsläpp från vulkaner och immobiliserande reaktioner med jordskorpan mineraler (Schlesinger 1997). Utbredningen av fotosyntetiserande organismer, först i vattnet och sedan även på land, påverkade den dittills rådande koldioxidbalansen kraftigt. Ett nytt och snabbare biokemiskt kretslopp lades till det gamla och långsammare geokemiska kretsloppet. Under årmiljoner har kolcykeln sedan ställt in sig och gett upphov till en atmosfär med en stabil koldioxidkoncentration. Under de senaste 17000 åren fram till den industriella revolutionen har koldioxidkoncentrationen i atmosfären i stort sett legat konstant kring 280 ppm. Därefter har koncentrationen i atmosfären ökat exponentiellt till över 360 ppm (se figur 1) (Etheridge et al. 1996). Allt tyder på att människan bär skulden för denna 30 procentiga ökning på mindre än 200 år. Aldrig tidigare under de nuvarande ekosystemens evolution, har en så snabb och kraftig ökning av koldioxidhalten i atmosfären ägt rum (Berner & Lasaga 1989).



Figur 1. Koldioxidkoncentrationen i atmosfären uppskattat från isborrkärnor tagna i Antarktis (översatt från Barnola et al. 1995).

Under jordens historia har det funnits perioder då den totala produktionen av biomassa har överstigit den totala nedbrytningen. Överskottet från dessa perioder ackumulerades i olika geologiska sediment där en liten del utvecklats vidare till olja, kol och gas. Det är den antropogena utvinningen och förbränningen av dessa fossila bränslen som bär den största skulden till den kraftiga koldioxidökningen i atmosfären. En signifikant andel av koldioxiden härstammar dock även från förlorad växtbiomassa i framförallt tropikerna, och fram till omkring 1960 överträffade denna källa förbränningen av de fossila bränslena (Houghton et al. 1983). Naturlig vegetation har fått ge vika för jordbruksmark och planteringar vilka saknar förmåga att binda upp koldioxid i samma utsträckning som de naturliga ekosystemen. Till viss del har koldioxidutsläppen på senare tid kompenseras av att man i vissa delar av världen har återplanterat ny skog på gammal åkermark.

En ökad koncentration av koldioxid och andra växthusgaser i atmosfären kommer att påverka klimatet globalt genom en förhöjd växthuseffekt. Flertalet studier pekar på att den globala medeltemperaturen har ökat med mellan 0.3 och 0.6 °C under de senaste 100 åren (Ahrens 1994). En dubbling av dagens mängd koldioxid i atmosfären kommer, enligt flera modeller, att ge upphov till en global uppvärmning på mellan 1.5 och 4.5°C (Ahrens 1994). Största temperaturökningen kommer att ske på höga latituder medan inga eller små skillnader kommer att uppmätas vid ekvatorn. Temperaturökningen kommer sannolikt att ge upphov till förändringar i den globala cirkulationen vilket i sin tur kan komma att leda till kraftiga regionala klimatförändringar. Hos flertalet växter är evaporationen starkt kopplad till koldioxidflödet. Detta beror på att båda flödena regleras med bladens klyvöppningar. Då koldioxidhalten i luften ökar kan växterna delvis stänga sina klyvöppningar och minska sina vattenförluster. Den minskade vattenförlusten kommer dock helt eller delvis vägas upp av den ökade avdunstningen som följer av högre lufttemperatur.

Storleken på koldioxidutsläppen från fossila bränslen utgör den bäst kända delen av den globala kolcykeln. Om all koldioxid från denna förbränning skulle ansamlas i atmosfären skulle koncentrationen öka med ca 0.8% per år. I själva verket ökar koncentrationen i atmosfären med ca 0.4% per år, eftersom endast 56% av koldioxiden från förbränningen av fossila bränslen förblir kvar i atmosfären (Schlesinger 1997, Keeling et al. 1995). Vart tar då resten vägen? En stor del av den antropogena koldioxiden löses upp i havet, som då fungerar som en buffert för den atmosfäriska koldioxiden. Människan släpper dock ut mer koldioxid än vad havet hinner lösa och en del koldioxid som borde finnas i atmosfären finns någon annan stans i systemet. Troligtvis är det biosfären som utgör denna "missing sink" för koldioxiden.

Upplagringen av kol på land bestäms till stor del av nettoprimärproduktionen (NPP) som mäts i $g/(m^2 \cdot \text{år})$. Nettoprimärproduktionen för en växt eller ett växtecosystem bestäms av differensen mellan bruttoprimärproduktionen (GPP) och växtrespirationen. Växtrespirationen, som i huvudsak är ett resultat av aktiviteten hos växtcellernas mitokondrier, är tydligt korrelerad till växtens kväveinnehåll (Ryan 1995). Frånvaron av fotorespirationen gör att växternas bladdelar respirerar mindre under natten än under dagen (Sharkey 1988). Hos träaktiga växter står stam- och rottdelar, till följd av dess procentuellt stora andel av växtbiomassan, för en stor del av den totala växtrespirationen (Amthor 1984, Waring & Schlesinger 1985). Växtrespirationen ökar generellt med ökad temperatur samt ökad växtålder. Storleken på NPP varierar huvudsakligen med tillgången på fukt, längden på växtsäsongen och årsmedeltemperaturen (Schlesinger 1997).

Nettoprimärproduktionen är dock inte helt ekvivalent med tillväxt. En del av NPP går förlorad till herbivorer, och en del ansamlas på marken i form av döda växttdelar vid lövfällning och dylikt. Växtvävnad innehåller i regel omkring 45 till 50 % kol, genom att dividera NPP med två får man på så vis fram hur mycket kol som har fixerats (Reichle et al. 1973).

Uppskattningar såsom de i tabell 1 beräknas genom att kategorisera vegetationstyperna och tilldela dem medelvärden från så många fältstudier som möjligt. Klassningen av olika ekosystem sker dock godtyckligt och ofta används endast välutvecklade bestånd vid fältstudier (Golley 1972, Schlesinger 1997). Den hittills vanligaste metoden för att uppskatta NPP för enstaka växter eller hela ekosystem har innefattat direkta mätningar av tillväxten genom uppsamling och skörd (Schlesinger 1997). En stor nackdel med metoden är att den kräver stor arbetsinsats, framförallt vid beräkning av stora arealer. Utvecklingen inom fjärranalys samt flödesmätningar har på senare tid gett upphov till nya arbetseffektiva metoder för att beräkna NPP för stora arealer, och det med god noggrannhet. Ett problem med storskaliga NPP-mätningar är hur man skall uppskatta rottillväxten. Noggranna fältmätningar visar att rötternas tillväxt utgör en signifikant del av växternas NPP, speciellt i näringsfattiga jordar (Schlesinger 1997, Gower et al. 1992). På grund av problemen förbises rottillväxten i regel vid större studier. Flera försök till globala uppskattningar av NPP har gjorts under senare tid. Dessa har byggt på omfattande modeller med ett stort antal styrande faktorer. Genom att inkludera effekterna av ökad koldioxidkoncentration och global uppvärmning har man även gjort försök att simulera framtida NPP-värden (Melillo et al. 1993).

Tabell 1. Uppskattningar av primärproduktion och biomassa i världen (översatt från Houghton & Skole 1990).

Ekosystem	Area (10^{12} m ²)	Medel- växtbiomassa (kg C/m ²)	Kol i vegetationen (10^{15} g)	Medel- nettoprimär- produktion (g C/m ² /år)	Nettoprimär- produktion (10^{15} g/år)
Tropisk regnskog	10.4	15	156.0	800	8.3
Tropisk (torr) skog	7.7	6.5	49.7	620	4.8
Tempererad skog	9.2	8	73.3	650	6.0
Boreal skog	15.0	9.5	143.0	430	6.4
Tropisk savann	24.6	2	48.8	450	11.1
Tempererad stepp	15.1	3	43.8	320	4.9
Öken	18.2	0.3	5.9	80	1.4
Tundra	11.0	0.8	9.0	130	1.4
Våtmark	2.9	2.7	7.8	1300	3.8
Uppodlad mark	15.9	1.4	21.5	760	12.1
Berg och is	15.2	0	0.0	0	0.0
Totalt globalt	145.2		558.8		60.2

Vissa forskare menar att nettoprimärproduktionen hos landvegetationen kommer att öka i och med att koldioxidkoncentrationen i atmosfären ökar och stimulerar fotosyntesen (Amthor 1995). I många områden begränsas dock tillväxten av andra faktorer såsom tillgång på vatten och näringsämnen, varför förhöjda koldioxidvärden kanske kommer att ha liten betydelse för tillväxten på sikt (Kramer 1981, Thomas et al. 1994, Brown 1991). En viktigare, indirekt, effekt av förhöjd koldioxidhalt på NPP, är en förändrad distribution av olika vegetationstyper på grund av en global uppvärmning (Overpeck et al. 1991, VEMAP 1995). En förflyttning norrut av trädgränsen på norra halvklotet kommer sannolikt att ge upphov till stora förändringar lokalt och en nettoökning av NPP globalt (Smith et al. 1992).

I ett färdigutvecklat ekosystem, som i till exempel en tropisk regnskog, är andelen levande biomassa konstant (Schlesinger 1997). Här balanseras hela nettoprimärproduktionen av respirationen och förlusten av döda växtdelar. I dessa ekosystem sker kolupplagring endast i jorden.

En stor del, generellt mellan ca 50 och 80 procent, av de terrestra ekosystemens nattliga respiration härstammar från processer i marken (Lavigne et al. 1997). Markrespirationen härstammar från flera olika källor. Mikrobiell nedbrytning av organiskt material (heterotrofisk respiration) och respiration från levande rötter (autotrofisk respiration) utgör de två viktigaste

källorna, men även kemisk oxidation och upplösning av karbonater (Burton & Beauchamp 1994) kan bidra till koldioxidflödet. Storleksförhållandet mellan den heterotrofa respirationen och rotrespirationen har visat sig variera kraftigt från lokal till lokal samt även över tiden. Nedbrytningsprocessen i jorden är i regel mycket effektiv, och endast en liten del av det organiska materialet lagras upp långvarigt. Vid nedbrytningen frigörs koldioxid, vatten och näringsämnen till jorden och atmosfären. Det bildas även *humus*, en typ av resistent organiska föreningar som med sin förmåga att stå emot nedbrytning ansamlas i jorden. I de flesta vegetationstyper överstiger den upplagrade mängden humus i jorden all biomassa ovan mark (Schlesinger 1977).

Nedbrytningen av organiskt material i jorden sker i två steg. Ett snabbt steg där döda växtdelar, på några år, förmultnar i jordens översta skikt och ett långsamt steg där humuspartiklar i hela jordmassan bryts ner under en tidrymd av ett par tusen år (Schlesinger 1997). Nedbrytningen, som sker främst av mikroorganismer, kan variera kraftigt i hastighet beroende på jordens temperatur och fuktighet, samt den kemiska sammansättningen hos materialet som skall brytas ner (Schlesinger 1977, Edwards 1975). I fuktiga, kalla jordar, som t ex. tempererade mossjordar, ansamlas mer organiskt material än i varma, torra jordar, t ex. ökenjordar (Schlesinger 1982). Vid en global uppvärmning kommer nedbrytningen av dött, organiskt material att öka på många håll (Jenkinson et al. 1991, Peterjohn et al. 1994, Kirschbaum 1995, Trumbore et al. 1996). Uppvärmningen kommer även att inverka indirekt på nedbrytningen genom att orsaka lokala förändringar i markfukten.

När ny mark tas i bruk för traditionell odling minskar NPP och därmed även andelen organiskt material i jorden. Speciellt stora förluster får man då våtmark med mycket organiskt innehåll dräneras (Armentano & Memges 1986). Då hela 10 % av världens jordar är uppodlade så måste de dåtida förlusterna av markbundet kol till atmosfären ha varit mycket stora (Schlesinger 1984).

De boreala skogarna täcker ca 8 % av jordens yta och binder ungefär 10 % av det totala kolet som är bundet i terrestra ekosystem (Grelle 1997). De förekommer endast på det norra halvklotet med en sträckning från Skandinavien via norra Ryssland och Sibirien, över Berings sund till Alaska och Kanada ända till Newfoundland. NOPEX är ett skandinaviskt experiment för att regionalt undersöka processer mellan land/växtlighet och atmosfär i ett område dominerat av boreal barrskog. NOPEX koordineras av BACH som utgör ett av åtta huvudprojekt startade av IGBP, International Geosphere-Biosphere Programme. NOPEX-projektets främsta mätstation är belägen i Norunda ca 30 km norr om Uppsala (se tabell 2). Långtidsmätningar startade där den 27 maj 1994 som ett CCM-program (Continuous Climate Monitoring). Mätningarna utgör nu även en del av det europeiska samprojektet EUROFLUX (IGBP & BACH: www.igbp.kva.se/, NOPEX: www.hyd.uu.se/nopex/, EUROFLUX: www.unitus.it/eflux/euro.html).

Tabell 2. Information om NOPEX-projektets mätstation i Norunda (översatt från EUROFLUX hemsida).

Norunda Mätstation	
Placering	60°05'N-17°28'E
Höjd över havet	45 m
Klimat	Tempererat-boreal
Topografi	plan
Årsmedeltemperatur	5.5°C
Årsnederbörd	527 mm
Jordtyp	Morän
Jorddjup	>100 cm
Vegetationstyp	Blandad barrskog
Trädarter	<i>Pinus sylvestris</i> , <i>Picea abies</i>
Trädålder	100 år
Trädhöjd	25 m
Trädtäthet	600 stammar/ha
LAI (projicerad)	5 m ² /m
Trätillväxt	5 m ² /(ha*år)

Syfte

Arbetet gick ut på att sammanställa och analysera data från Norunda-masten för att få en bild av det nattliga koldioxidflödet över en relativt homogen boreal barrskog. Framförallt skulle de

spatiella och temporala variationerna i koldioxidflödet kartläggas och förklaras. Genom att endast välja ut nattliga mätningar koncentrerades arbetet på respirationen hos ekosystemet.

Med arbetet hoppades jag att finna tydliga exponentiella samband mellan lufttemperaturen och koldioxidflödet. Jag hoppades även finna indikationer på att de skillnader i växtlighet och markfukt som existerar inom området skulle ge upphov till tydliga signaturer i koldioxidflödet.

Väderförhållandena på natten är generellt stabilare än på dagen vilket leder till att koldioxiden, som mäts i masten, i genomsnitt har färdats längre under natten än under dagen. Teoretiskt skulle koldioxiden vid vissa förhållanden kunna färdas från ett område med annan markanvändning bortom skogen innan den når sensorn. Detta hade varit högst intressant att undersöka men då det tillstötte vissa tekniska problem med den *footprint**-modell (* se Flödesmätningar med eddy correlation-tekniken) som ämnades användas, fick den analysen utgå. Bristen på andra fleråriga mätserier gör att antalet liknande studier är få och utspridda, varför jämförande analyser inte kunde göras.

Material och metoder

Data som ingick i analysen var insamlade i Norunda strax norr om Uppsala och sträckte sig från början av juni 1994 till slutet av 1998. Området är tämligen plant och homogent. Längsta sträckan obruten skogsmark sträcker sig 20 km sydväst från mätmasten. Den kortaste sträckan, som är 1 km, finner man i nord-nordväst där skogen bryts av en sjö (Grelle 1997). En bild över området samt information om mätlokalen finns i figur 2 och tabell 2. Skogen en km kring masten var noggrant kartlagd och informationen fanns tillgänglig i MapInfo-format.

Följande data insamlades av instrument på 35 meters höjd över marken (z), på masten i Norunda: Koldioxidflöde (CO₂f), lufttemperatur (T), vindriktning (WD), vindhastighet (Vhast), friktionshastighet (u*), lateral vindkomponent (σ_v) och värmefflöde (HF_{sv}). Deskriptiv statistik över mätningarna redovisas i tabell 3. Koldioxidflödet mättes enligt eddy correlation-tekniken. Alla data från eddy correlation-systemet beräknades som halvtimmes-medelvärden. Mätintervallet för temperaturen varierade mellan varje halv och varje hel timme varför interpolering till rena halvtimmesvärden fick göras. Temperaturmätningarna gjordes 37 meter över marken.

Tabell 3. Deskriptiv statistik för gjorda mätningar.

	Min	Max	Medel	Stdav.
CO ₂ f (mg*m ⁻² *s ⁻¹)	-0.94891	1.85913	0.09583	0.11974
T (°C)	-19.3422	26.6981	3.2148	7.3408
Vhast (m/s)	0.0277	12.111	2.4392	0.9858
u* (m/s)	0.00073	2.8518	0.39068	0.25442
σ _v (m/s)	0	6.9309	0.67723	0.38214
HF _{sv} (W/m ²)	-319.02	658.3	-30.479	33.199

Enligt Grelle (1997) var mätavbrotten mellan 27 maj, 1994 och 31 december, 1996 få och mätningarna på 35 m täckte ca 97 % av tiden. Uppgifter om täckningen 1997-1998 saknas. Ur det totala mätunderlaget togs enbart nattvärden ut vilket gav ett databortfall på 50 %. Därtill, för att undvika felaktiga mätningar som uppstår då en extremt stabil luftskiktning gör att koldioxiden hålls kvar under mäthöjden, valdes alla mätningar med en friktionshastighet under 0.4 bort i alla koldioxidanalyser. Detta gav ett databortfall på ytterligare 60 % vilket gav ett slutligt mätunderlag på 14137 mätpunkter.

Obukhov-längden (L), som är ett direkt mått på stabiliteten, beräknades med hjälp av de insamlade datavärdena enligt formel 1.

$$L = \frac{-\rho * c_p * T * u_*^3}{\kappa * g * HF_{sv}} \quad \text{(Formel 1)}$$

ρ är luftens densitet = 1.225 kgm⁻³, c_p är luftens specifika värmekapacitet = 1.01 Jg⁻¹K⁻¹, T är lufttemperaturen, u* är friktionshastigheten, κ är von Kármáns konstant = 0.4, g är tyngdkraftsaccelerationen = 9.82 m/s², HF_{sv} är värmefflödet.

Skrovlighetsparametern (z_0) för området fanns tillgänglig i form av ett tiogradens polynom framtaget av Grelle (1997) (formel 2 visar polynomet i form av ett Fortran-program).

```
do 10 i=0,10
10  z0=z0+z0par(i)*dir**i
```

 (Formel 2)

```
z0par = 2.150000 -1.760000E-02 1.932000E-04 -6.117000E-07
        -1.635000E-09 9.980000E-12 2.900000E-14 -4.030000E-17
        -4.067000E-19 -7.410000E-22 3.720000E-24
```

De rådande vindförhållandena i området analyserades och koldioxidflödet korrelerades mot temperatur, vindriktning mm. Vidare användes PLS (Partial Least Squares modell), som är en multivariabel-analys, för att analysera sambanden mellan koldioxidflödet och flera andra variabler.



Figur 2. Karta över området kring Norunda-masten. Cirkel indikerar 1km radie från masten. Svart=vatten, Mörkgrått=våtmark, Ljusgrått=åker, övrigt=skog.

Flödesmätningar med eddy correlation-tekniken

Under senare år har teknikutvecklingen gjort det möjligt att konstruera mätsystem enligt den så kallade "eddy-correlation-tekniken". Tekniken används för att kontinuerligt mäta kolflödet för hela ekosystem, växter såväl som jord. Metoden bygger på det faktum att det alltid finns en koncentrationsgradient från atmosfärens bakgrundskoncentration på ca 360 ppm till en lägre eller högre nivå strax ovanför vegetationen. Gradienten bildas under dagen av fotosyntesen, som tar koldioxid ur luften, medan den under natten bildas av jordens och växternas respiration som för koldioxiden tillbaka till atmosfären. Skillnaden mellan de aktiva processerna ger ofta upphov till en omvänd gradient mellan dagen och natten. Eddy correlation-metoden, som kan användas till bland annat uppskattning av NPP för hela ekosystem, fungerar tack vare att storleken på gradienten alltid är relaterad till vegetationens koldioxid-upptag/utsläpp, oavsett luftens omblandning (Schlesinger 1997, Woodwell & Dykeman 1966).

En nackdel med eddy correlation-tekniken gentemot slutna mätsystem är att man inte kan få information om enskilda plantor eller växtskikt. Mastmätning ger endast ett medelvärde av flödet från det område som masten står i. Det område, uppvinds från masten, som utgör källan för den uppmätta koldioxiden kallas för käll-area eller "footprint". Käll-arean varierar både i riktning, avstånd från masten och storlek beroende på framförallt mät höjd, vindförhållande och stabilitet.

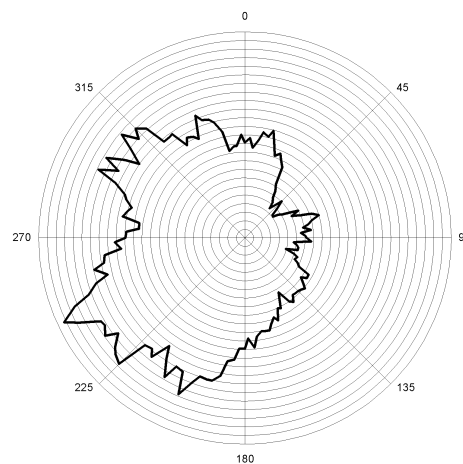
I regel används ljudanemometrar då man mäter flöden med eddy correlation-tekniken, så även i detta arbete. Anledningen är att det krävs sensorer som kan göra noggranna mätningar med hög frekvens. Dessutom är ljudanemometrar speciellt lämpade vid långa mätperioder då de inte påverkas nämnvärt av hårda väderförhållanden och därför inte kräver mycket service. Luftens koncentration av koldioxid (och vattenånga) mäts med en infraröd gasanalysator. För att mätningarna skall bli korrekta måste mätinstrumenten vara belägna i det interna gränsskiktet där flödet är konstant med höjden. Detta kräver en fast mätplats, avsaknad av källor och sänkor mellan mätytan och instrumentet, samt en horisontellt homogen mätyta (Moncrieff et al. 1996). Mätområdet får därtill inte vara alltför kuperat då det annars uppstår katabatiska luftflöden som dränerar luften från området.

Principen för eddy-correlation-tekniken bygger på Navier-Stokes ekvationer om rörelse. Det vertikala flödet av energi eller ämnen i luften (i detta fallet CO₂) bestäms av den uppmätta koncentrationen gånger den vertikala vindhastigheten, $F = \rho_x * w$. Då luftflödet i det atmosfäriska gränsskiktet är turbulent saknar det momentana flödet relevans, i stället räknar man ut ett temporalt flödesmedelvärde, \bar{F} . Detta får man fram genom att multiplicera den temporala fluktuationen kring medelvärdena hos ρ_x och w med varandra, $\bar{F} = \overline{\rho'_x * w'}$.

Resultat

Som man kan se i figur 3 är sydväst den vanligaste nattliga vindriktningen under mätperioden. Alla östliga vindriktningar har låg frekvens. Speciellt lågfrekvent var vindsektorn 30°-68° med endast 1800 mätningar. Delar man upp vindriktningarna efter årstid (figur 4) så ser man att den vanligaste respektive ovanligaste vindriktningen förblir ungefär densamma som för hela året.

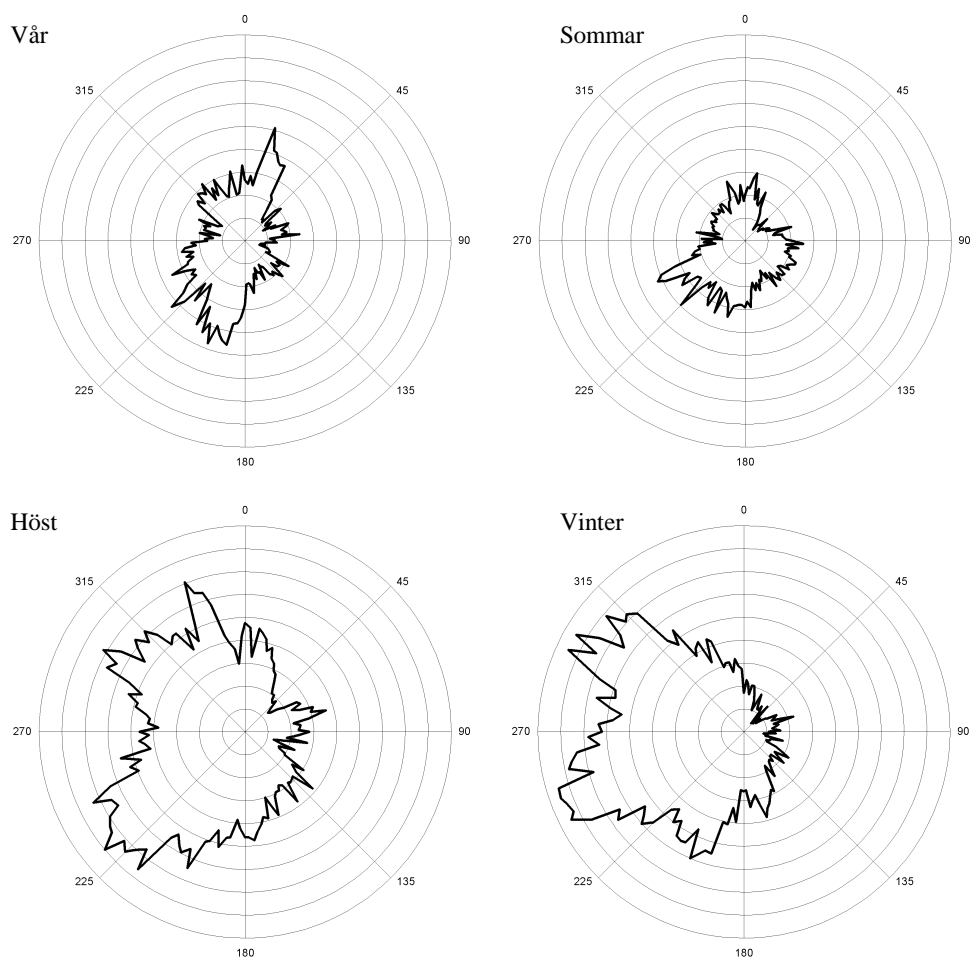
I figur 5 visas variationen i det nattliga koldioxidflödet från juni 1994 till och med december



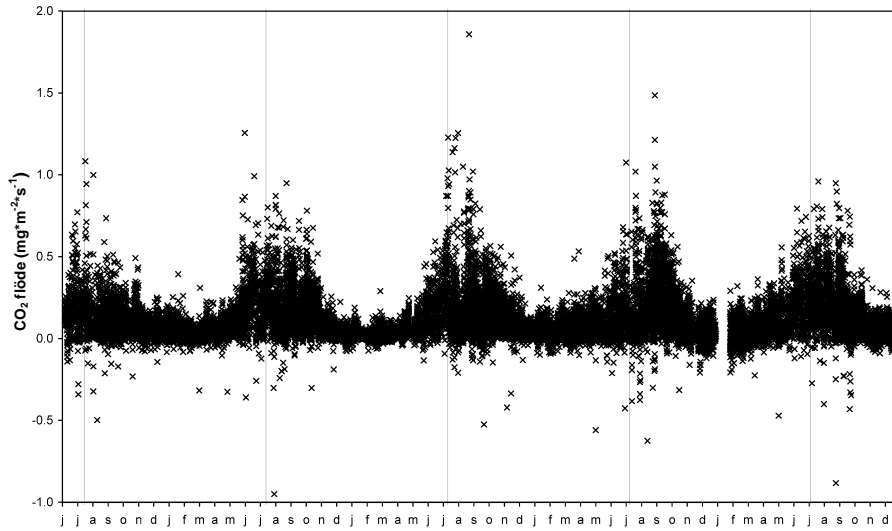
Figur 3. Uppmätta, nattliga vindriktningar under mätperioden jun-94 t o m dec-98. Varje cirkel motsvarar 20 mätningar.

1998. Vid jämförelse mellan figur 5 och figur 6, som visar variationen i nattemperaturen under samma period, så framgår ett tydligt samband mellan koldioxidflödet och temperaturen. Vid korrelation framgick ett exponentiellt beroende av koldioxidflödet mot temperaturen ($r^2=0.43$, se figur 7). Denna korrelation var klart sämre än den som Lindroth et al. (1997) visar i sin studie ($r^2=0.79$), detta trots det tre gånger så stora mätunderlaget. Q_{10} -värdet, som representerar respirationsökningen vid en temperaturökning på 10°C , beräknades till 2.94. Vid en uppdelning efter den rådande vindriktningen erhöles även då god korrelation mellan koldioxidflödet och temperaturen (appendix figur A 1). Sämst korrelation erhöles i riktningarna mellan 247.5° och 315° där r^2 låg runt 0.3. För övriga vindriktningar låg r^2 mellan 0.44 och 0.59. Då mätningarna istället delades upp månad för månad erhöles dålig korrelation mellan koldioxidflöde och temperatur (appendix figur A 2). Detta berodde på en liten spridning i temperaturen inom varje månad i kombination med ett litet antal observationer.

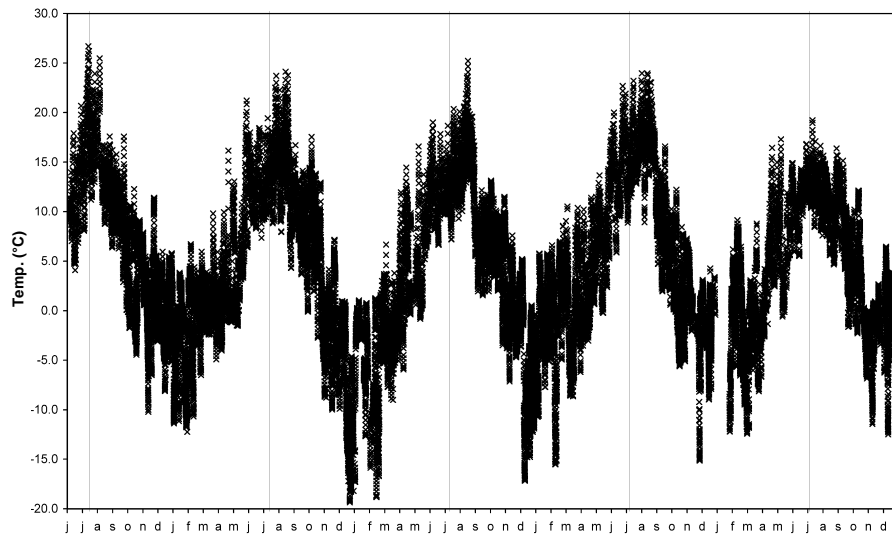
Efter temperaturnormalisering av koldioxidflödet med formeln i figur 7 (aktuellt värde/beräknat värde), plottades koldioxidflödet både mot vindriktningen och stabiliteten för att finna eventuell korrelation. Ingen av plottarna visade på någon tydlig korrelation, möjligtvis kunde ett svagt samband av något slag skönjas i plotten mot stabiliteten (appendix figur A 3). Sambanden blev inte heller tydligare av uppdelning i olika vindsektorer.



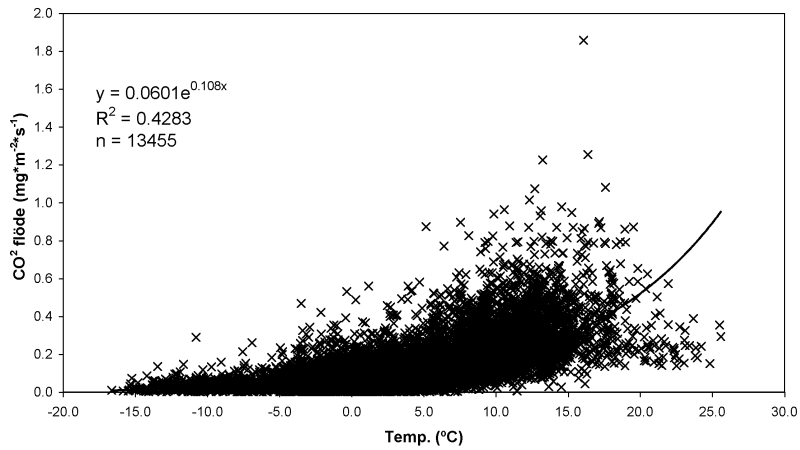
Figur 4. Uppmätta, nattliga vindriktningar under mätperioden jun-94 t o m dec-98, uppdelat efter årstid. Varje cirkel motsvarar 20 mätningar. Den stora skillnaden i antalet mätningar mellan sommar respektive vinter beror på dygnets olika antal soltimmar.



Figur 5. Natligt koldioxidflöde jun94-dec98.



Figur 6. Natlig temperatur jun94-dec98.



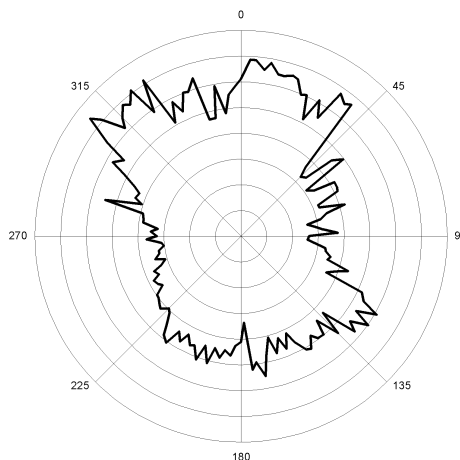
Figur 7. Sambandet mellan det nattliga koldioxidflödet, dvs. respirationen, och temperaturen.

Vid en närmare titt på enskilda nätter framgick det att under sommarhalvåret varierade koldioxidflödet ofta kraftigt (se appendix figur A 4) medan det under vinterhalvåret knappt varierade alls (appendix figur A 5). Orsaken till de kraftiga variationerna under enskilda sommarnätter ligger ej i temperaturen som är relativt konstant under så korta tidsperioder. Inte heller fann vi någon korrelation mot rådande vindriktning, vindhastighet eller stabilitet.

Koldioxidflödena, temperaturnormaliserade efter formeln i figur 7, plottades mot vindriktningen varvid fyra distinkt skilda vindsektorer kunde urskiljas (se figur 8): 300°-43°, 43°-117°, 117°-223° och 223°-300°. Skillnaderna i koldioxidflödet mellan de fyra vindsektorerna presenteras statistiskt i figur 9.

Vid jämförelse mellan trädbeståndens ålder i en 1 km radie från masten (figur 10) och koldioxidflödets variation med vindriktningen (figur 8) ser man att det kraftiga koldioxidflödet från norr överensstämmer med stort parti yngre skog. Detta kan vara ett tecken på att yngre skogsbestånd avger mer koldioxid än äldre. Det kraftiga koldioxidflödet från norr kan dock också bero på en hög andel markfukt kring sjön Velången i nord-nordväst.

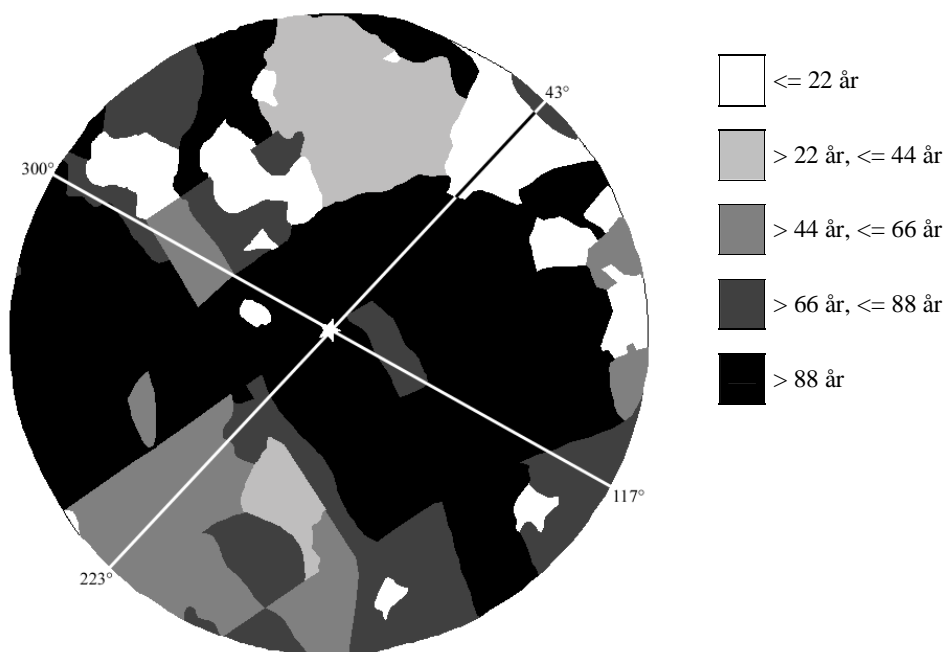
För att ta reda på om en kombination av flera kända parametrar, däribland temperaturen, gav en bättre korrelation mot koldioxidflödet än enbart temperaturen, så skapades en PLS-modell. Som prediktorer i modellen gavs temperaturen, den julianska dagen, skrovlighetsparametern, vindriktningen, värmeffödet, vindhastigheten, friktionshastigheten, den laterala vindkomponenten, och stabiliteten i form av måthöjden genom Obukhov-längden. Resultatet blev en modell för att förklara koldioxidflödet där temperaturen var den klart viktigaste faktorn. Temperaturen hade tre gånger så stor inverkan i modellen som den näst viktigaste prediktorn som var den julianska dagen (se tabell 4). Med tre uträknade koefficienter var korrelationen mellan modellen och de uppmätta koldioxidflödena i princip lika bra som den korrelation som erhöles mellan koldioxidflödena och temperaturen enbart ($r^2=0.473$).



Figur 8. Det nattliga koldioxidflödet mot vindriktningen. Varje cirkel motsvarar 0.25 enheter.

Sektor	N	Medel	StdAv	Individuell 95% Konf.Interv. För Medel Baserat på Polad StdAv.
300-43	3745	1.5450	1.2067	(*)
43-117	848	0.8942	0.7368	(--*)
117-223	4362	1.1812	0.8957	(*)
223-300	5182	0.9418	0.7649	(*)
Polad StdAv = 0.9383				1.00 1.25 1.50

Figur 9. Statistik för koldioxidflödet i de fyra distinkt skiljda vindsektorerna.



Figur 10. Trädens ålder i 1 km radie från mätmasten, de funna vindsektorerna utritade. (bearbetad MapInfo-data från NOPEX).

Tabell 4. Den relativa vikten för de enskilda prediktorerna i PLS-modellen (tre koefficienter uträknade).

	Vikt
Temp.	2.66877
Juliansk dag	0.823952
z_0	0.593179
Vindriktn.	0.421021
HFsv	0.415957
Vindhast.	0.409133
u_*	0.362483
Lateral vind	0.341922
z/L	0.284499

Diskussion

Som tidigare har nämnts så härstammar det uppmätta koldioxidflödet över skogen, till största delen från markrespirationen. Storleken på markrespirationen beror främst på temperaturen i markens olika skikt men även på hur mycket fukt som finns i marken. Morén och Lindroth (2000) visar i sitt försök från samma område att lufttemperaturen endast förklarar skogsmarkens koldioxidflöde till 17 %. Ett sätt att erhålla bättre resultat i korrelationerna med koldioxidflödet är således att, i stället för att använda lufttemperaturen, använda sig av ett flertal marktemperaturer tagna på olika djup. Effekten av markfukten på markrespirationen är inte lika tydlig som effekten av temperaturen. Det tycks som om en ”lagom”

mängd markvatten gynnar respirationen medan mer eller mindre vatten än så bromsar respirationen. Vidare studier behövs kring markvattnet för att man till fullo skall förstå dess betydelse för markens processer.

Avsaknad av fotosyntesen på natten gör att även trädens och växternas respiration ger märkbara effekter på koldioxidflödet. Främst är det de grövre växtdelarna, såsom stammar och grenar som bidrar med koldioxid till atmosfären. I försök med slutna system har man konstaterat att blad och gröna växtdelars respiration varierar direkt med lufttemperaturen medan de grövre växtdelarna reagerar med en tidsfördröjning på upp till fyra timmar. Denna fördröjning kan göra att solinstrålningen strax innan solnedgången ger effekter på stamrespiration en bit in på natten, vilket i så fall ger en felkälla. Morén och Lindroth (2000) såg i sin studie att respirationen från växternas basala delar även varierade med växtsäsongen. Respirationen var lägst i början på säsongen och ökade mot slutet av säsongen. Denna

säsongsvariation behandlades genom att låta juliensk dag vara en av prediktorerna i PLS-modellen. Detta hade dock en relativt liten effekt på modellens resultat.

Variationen inom enstaka nätter på sommaren skulle kunna bero på att koldioxiden inte avges kontinuerligt utan istället byggs upp under en tid för att sedan avges i pustar. Några bevis för att så är fallet finns dock ej. Området behöver studeras vidare i detalj.

Orsaken till de fyra urskiljda vindsektorerna med karakteristiska koldioxidflöden bör ligga i marktypen och dess egenskaper. Detta då skillnaderna i vindriktning är små över året. Markegenskaper som lagertjocklek, porositet, partikelstorlek, vatteninnehåll och pH bör mätas i fält för de olika vindsektorerna. För att bestämma avståndet från masten till mätpunkterna kan man använda en footprint-modell.

Slutsats

Koldioxidflödet över relativt homogena skogspartier tycks till stor del variera med temperaturen i luften men än mer med temperaturen i marken. Även markfukten bidrar, men exakt hur vet man inte säkert. Upptäckten av fyra, i koldioxidflödesväg, distinkt skilda vindsektorer tyder på variation mellan skogsbestånden. Variationen kan bero på beståndens ålder men mer sannolikt på olika markförhållanden.

Det uppstår ibland kraftiga svängningar hos koldioxidflödet under enskilda sommarnätter vilket sannolikt beror på hur koldioxiden frigörs från marken och biosfären, till atmosfären. Dessa variationer har ingen koppling till någon variation i temperaturen, vilket är den parameter som i huvudsak styr produktionen av koldioxid.

För att kunna gå vidare krävs att de långsiktiga koldioxidflödesstudier som pågår i Norunda kompletteras med temperaturmätningar i olika marklager samt eventuellt även inuti grövre växtdelar. Särskilda fältmätningar bör utföras i de fyra vindsektorer som identifierats för att finna nyckeln till variationen. Till sin hjälp bör man använda någon slags footprint-modell. Därtill behövs detaljstudier av mark och stammar för att finna och förklara anledningen till de kraftiga variationer som uppstår i koldioxidflödet under enskilda sommarnätter.

Tillkännagivanden

Idén till arbetet fick jag från min handledare Anders Lindroth. Han har under arbetets gång givit mig mycket hjälp och stöd. Anders' kunskaper och kontakter har gett mig fördjupad insikt i hur det är att forska inom naturgeografi på en hög nivå. Arbetet bygger helt på de flödesdata som Achim Grelle (Lantbruksuniversitetet i Uppsala) samlat ihop mellan 1994 och 1998 i Norunda för NOPEX-projektet. Jag tackar Achim för att jag har fått tillgång till hans material och beräkningar. Vid Naturgeografiska institutionen i Lund vill jag tacka Meelis Mölder för att jag har fått tillgång till hans temperaturdata från Norunda, Lars Eklundh och Jonas Ardö för deras programmeringsexpertis inom Fortran, samt Harry Lankreijer för stöd och litteraturhjälp.

Referensförteckning

Ahrens C.D. 1994: Meteorology today, an introduction to weather, climate, and the environment. West Publishing Company, 591 s.

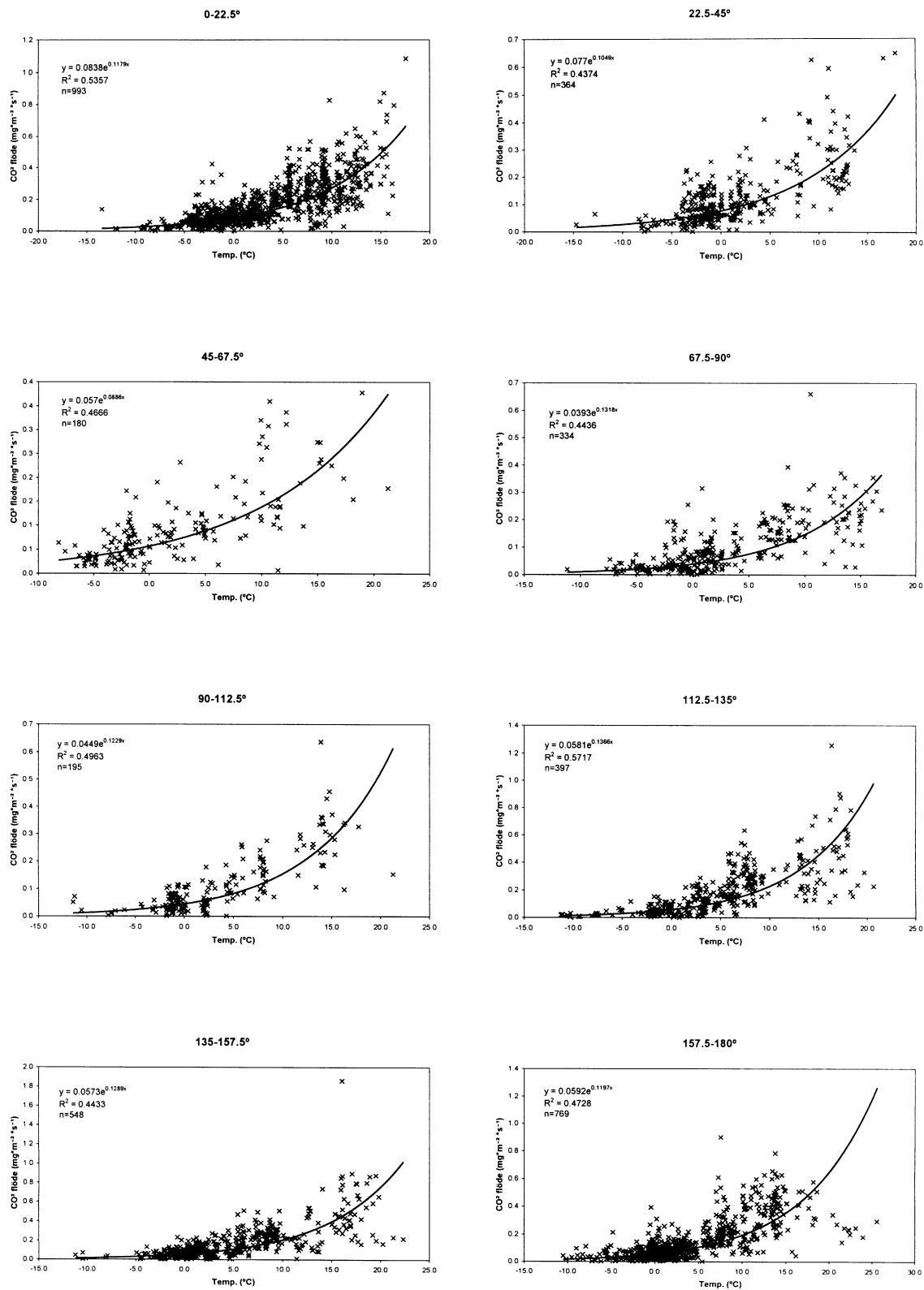
Amthor J.S. 1984: The role of maintenance respiration in plant growth. *Plant, Cell and Environment*, 7: 561-569.

Amthor J.S. 1995: Terrestrial higher-plant response to increasing atmospheric CO₂ in relation to the global carbon cycle. *Global Change Biology*, 1: 243-274.

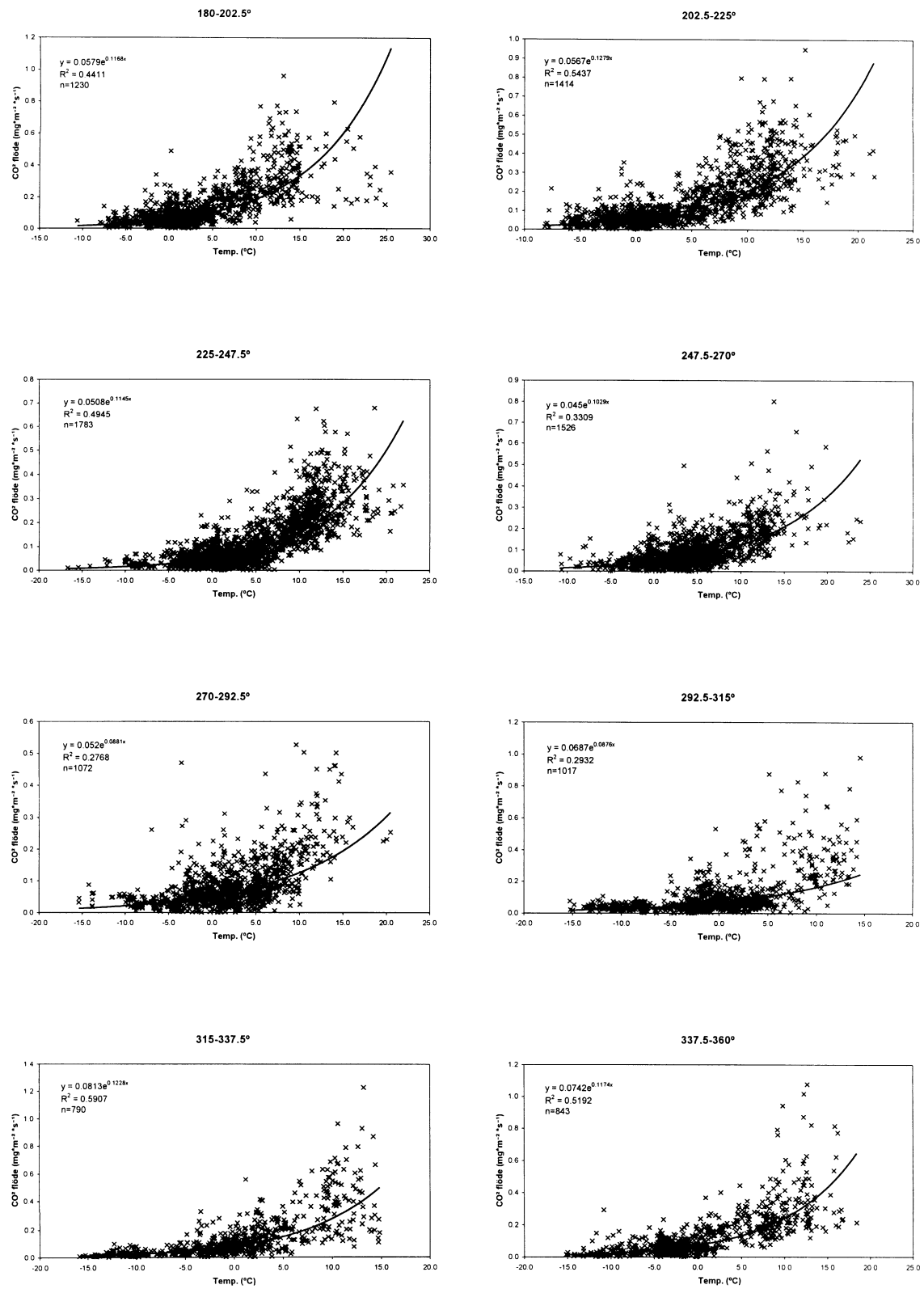
- Armentano T.V. & Menges E.S.** 1986: Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. *Journal of Ecology*, 74: 755-774.
- Barnola J.M., Anklin M., Porcheron J., Raynaud D., Schwander J. & Stauffer B.** 1995: CO₂ evolution during the last millennium as recorded by Antarctic and Greenland ice. *Tellus*, 47B: 264-272.
- Berner R.A. & Lasaga A.C.** 1989: Modeling the geochemical carbon cycle. *Scientific American*, 260(3): 54-61.
- Brown K.R.** 1991: Carbon dioxide enrichment accelerates the decline in nutrient status and relative growth rate of *Populus tremuloides* Michx. seedlings. *Tree Physiology*, 8: 161-173.
- Burton D.L. & Beauchamp E.G.** 1994: Profile nitrous oxide and carbon dioxide concentrations in a soil subject to freezing. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 115-122.
- Edwards N.T.** 1975: Effects of temperature and moisture on carbon dioxide evolution in a mixed deciduous forest floor. *Soil Science Society of America Proceedings*, 39: 361-365.
- Etheridge D.M., Steele L.P., Langenfelds R.L., Francy R.J., Barnola J.-M. & Morgan V.I.** 1996: Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO₂ over the last 1000 years from air in Antarctic ice and firn. *Journal of Geophysical Research*, (D)101: 4115-4128.
- Golley F.B.** 1972: Energy flux in ecosystems. s. 69-90 i Wiens J.A. (ed.), *Ecosystem structure and function: Proceedings of the thirty-first annual biology colloquium. Annual Biology Colloquium*, 31: 0099-7129.
- Gower S.T., Vogt K.A. & Grier C.C.** 1992: Carbon dynamics of Rocky Mountain Douglas-fir: Influence of water and nutrient availability. *Ecological Monographs*, 62: 43-65.
- Grelle A.** 1997: Long-term water and carbon dioxide fluxes from a boreal forest, methods and applications. *Silvestria* 28, Svenska Lantbruksuniversitetet, Uppsala, 200 s.
- Houghton R.A., Hobbie J.E., Melillo J.M., Moore B., Peterson B.J., Shaver G.R. & Woodwell G.M.** 1983: Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: A net release of CO₂ to the atmosphere. *Ecological Monographs*, 53: 235-262.
- Houghton R.A. & Skole D.L.** 1990: Carbon. s. 393-408 i Turner B.L., Clark W.C., Kates R.W., Richards J.F., Mathews J.T. & Meyer W.B. (eds.), *The Earth as transformed by human action*. Cambridge University Press, 713 s.
- Jenkinson D.S., Adams D.E. & Wild A.** 1991: Model estimates of CO₂ emissions from soil in response to global warming. *Nature*, 351: 304-306.
- Keeling C.D., Whorf T.P., Wahlen M. & van der Plicht J.** 1995: Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980. *Nature*, 375: 666-670.
- Kirschbaum M.U.F.** 1995: The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biology and Biochemistry*, 27: 753-760.
- Kramer P.J.** 1981: Carbon dioxide concentration, photosynthesis, and dry matter production. *Bioscience*, 31: 29-33.
- Lavigne M.B., Ryan M.G., Anderson D.E., Baldocchi D.D., Crill P.M., Fitzjarrald D.R., Goulden M.L., Gower S.T., Massheder J.M.M, McCaughey J.H., Rayment M.B. & Striegl R.G.** 1997: Comparing nocturnal eddy covariance measurements to estimates of ecosystem respiration made by scaling chamber measurements at six coniferous boreal sites. *Journal of Geophysical Research*, (D)102: 28977-28985.
- Melillo J.M., McGuire A.D., Kicklighter D.W., Moore B., Vorosmarty C.J. & Schloss A.L.** 1993: Global climate change and terrestrial net production. *Nature*, 363: 234-240.
- Moncrieff J.B., Malhi Y. & Leuning R.** 1996: The propagation of errors in long-term measurements of land-atmosphere fluxes of carbon and water. *Global Change Biology*, 2: 231-240.

- Morén A.-S. & Lindroth A.** 2000: CO₂ exchange at the floor of a boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 101: 1-14.
- Overpeck J.T., Bartlein P.J. & Webb T.** 1991: Potential magnitude of future vegetation change in eastern North America: Comparisons with the past. *Science*, 254: 692-694.
- Reichle D.E., Dinger B.E., Edwards N.T., Harris W.F. & Sollins P.** 1973: Carbon flow and storage in a forest ecosystem. s. 345-365 i Woodwell G.M. & Pecan E.V. (eds.), *Carbon and the biosphere*. CONF 720510. National Technical Information Service, 392 s.
- Ryan M.G.** 1995: Foliar maintenance respiration of subalpine and boreal trees and shrubs in relation to nitrogen content. *Plant, Cell and Environment*, 18: 765-772.
- Schlesinger W.H.** 1977: Carbon balance in terrestrial detritus. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 8: 51-81.
- Schlesinger W.H.** 1982: Carbon storage in the caliche of arid soils: A case study from Arizona. *Soil Science*, 133: 247-255.
- Schlesinger W.H.** 1984: Soil organic matter: A source of atmospheric CO₂. s. 111-127 i Woodwell G.M. (ed.), *The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle*. SCOPE 23. Wiley & Sons, 248 s.
- Schlesinger W.H.** 1997: Biogeochemistry, an analysis of global change. Academic Press, 588 s.
- Sharkey T.D.** 1988: Estimating the rate of photorespiration in leaves. *Physiologia Plantarum*, 73: 147-152.
- Smith T.M., Leemans R. & Shugart H.H.** 1992: Sensitivity of terrestrial carbon storage to CO₂-induced climate change: Comparison of four scenarios based on general circulation models. *Climatic Change*, 21: 367-384.
- Thomas R.B., Lewis J.D. & Strain B.R.** 1994: Effects of leaf nutrient status on photosynthetic capacity in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings grown in elevated atmospheric CO₂. *Tree Physiology*, 14: 947-960.
- Trumbore S.E., Chadwick O.A. & Amundson R.** 1996: Rapid exchange between soil carbon and atmospheric carbon dioxide driven by temperature change. *Science*, 272: 393-396.
- VEMAP Members.** 1995: Vegetation/ecosystem modeling and analysis project: Comparing biogeography and biogeochemistry models in a continental-scale study of terrestrial ecosystem responses to climate change and CO₂ doubling. *Global Biogeochemical Cycles*, 9: 407-437.
- Waring R.H. & Schlesinger W.H.** 1985: Forest ecosystems: Concepts and management. Orlando Academic Press, 340 s.
- Woodwell G.M. & Dykeman W.R.** 1966: Respiration of a forest measured by carbon dioxide accumulation during temperature inversions. *Science*, 154: 1031-1034.

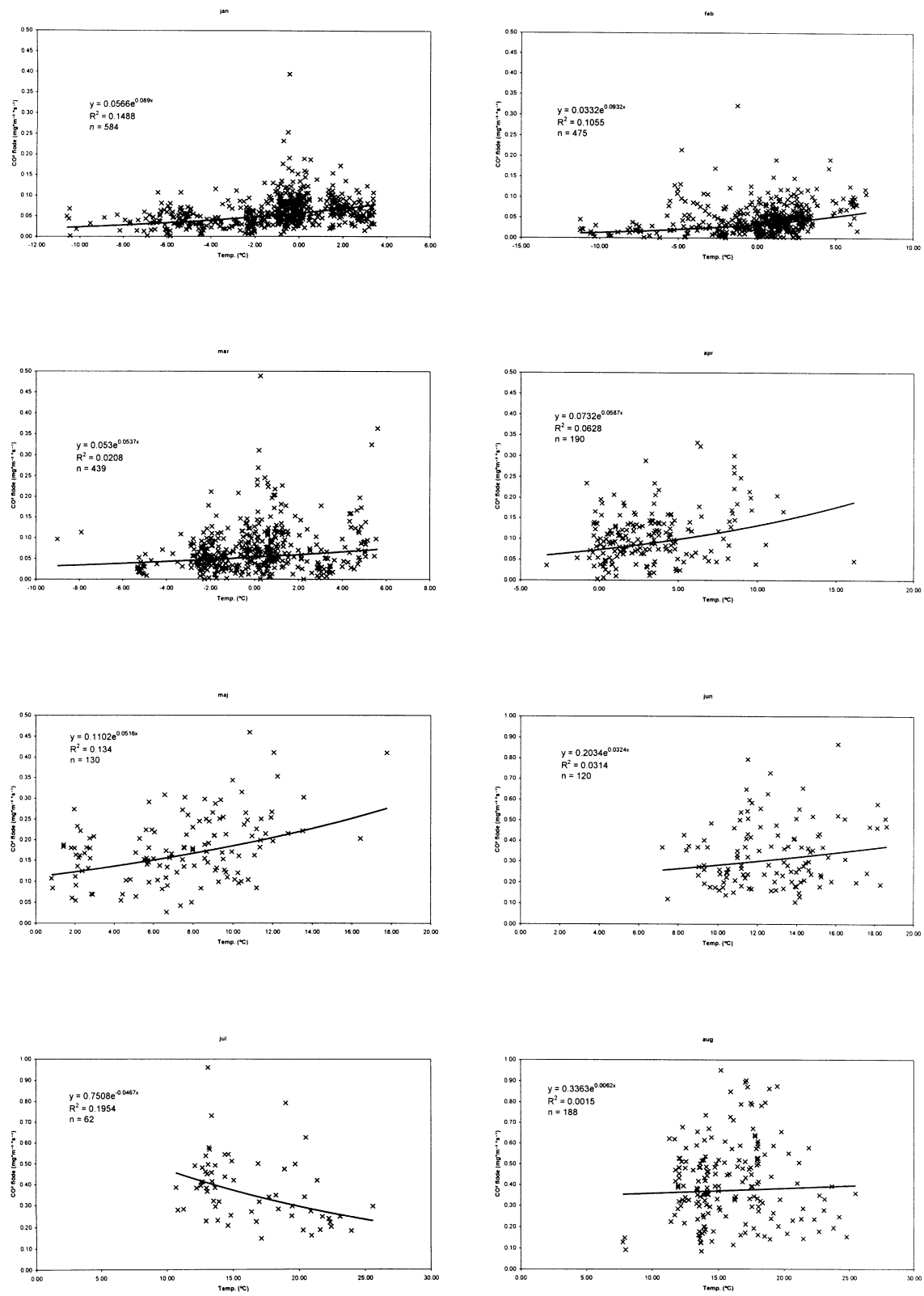
Appendix



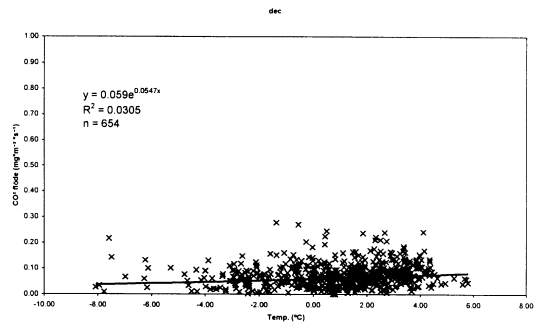
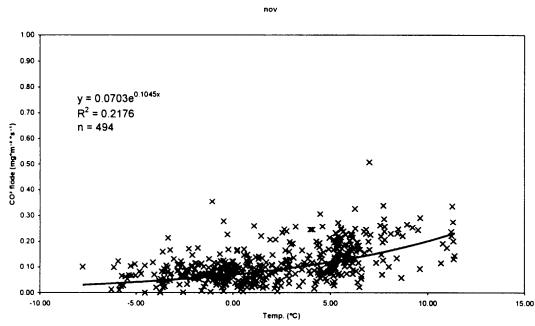
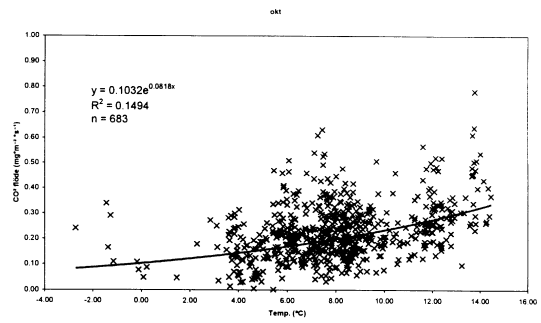
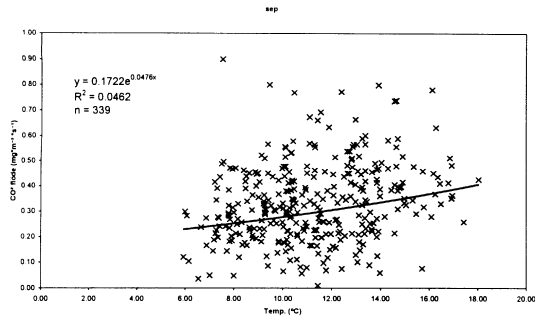
Figur A 1. Koldioxidflödet plottat mot temperaturen, indelat efter vindsektorer.



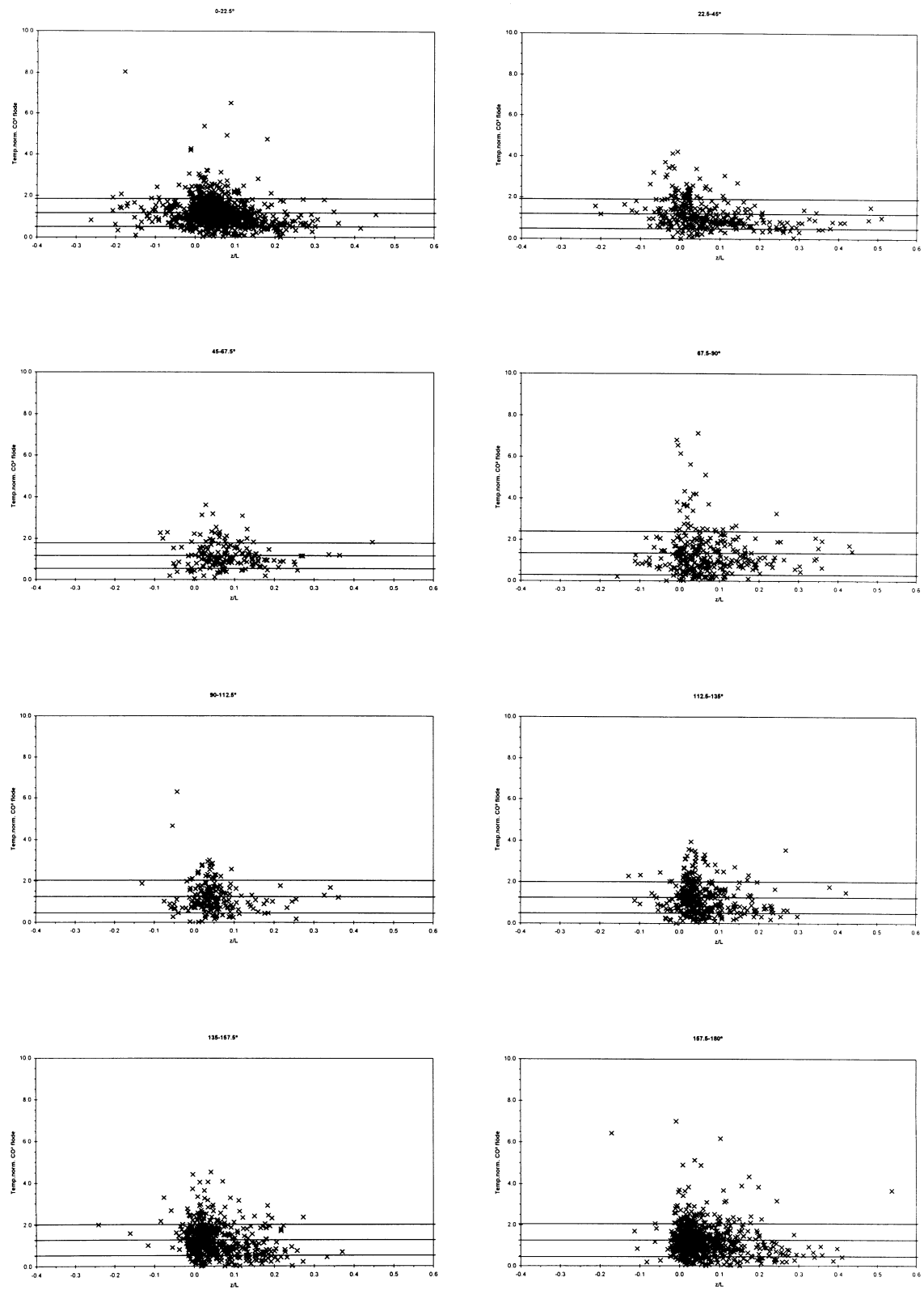
Forts. **Figure A 1.**



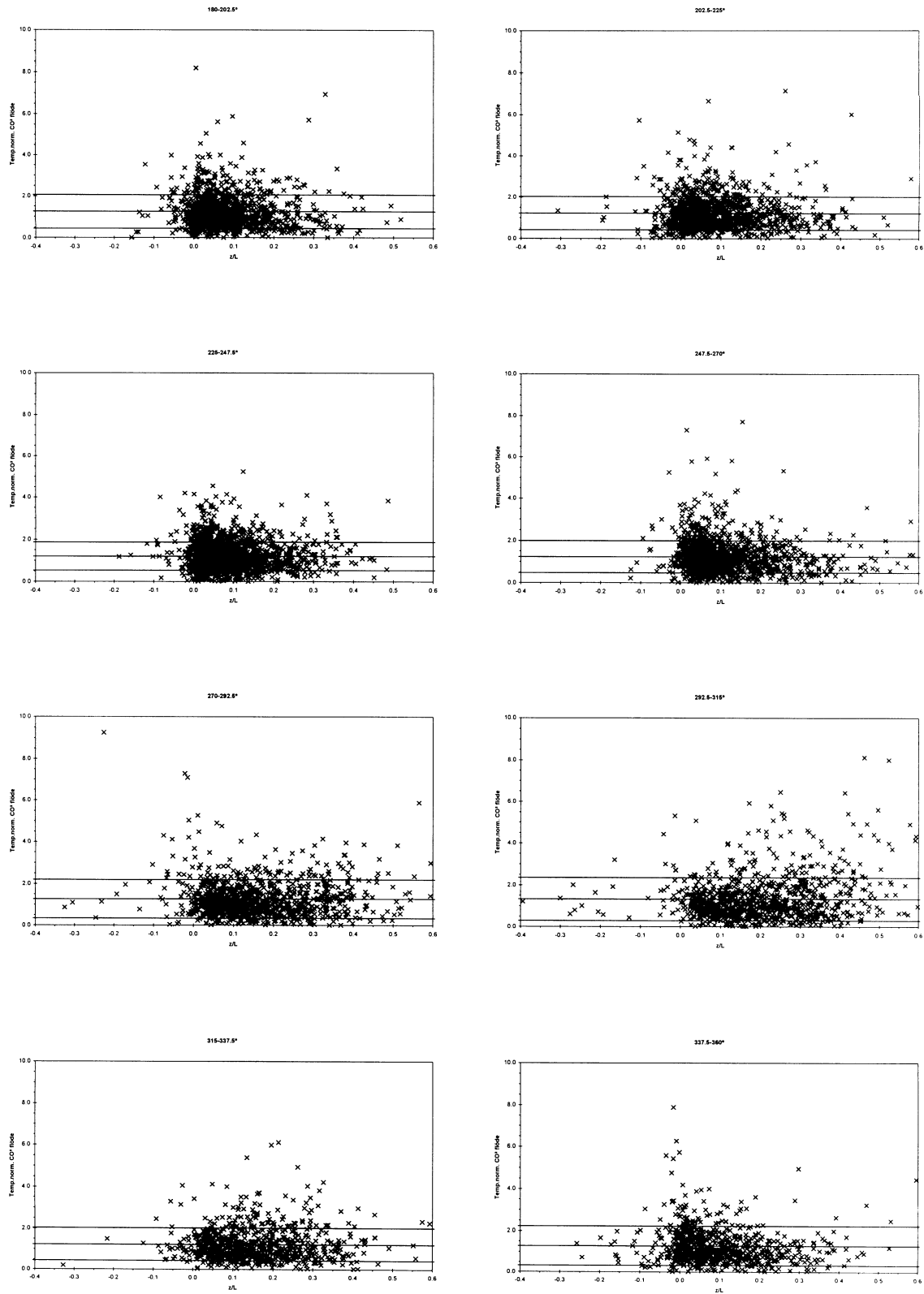
Figur A 2. Koldioxidflödet plottat mot temperaturen, indelat efter månad.



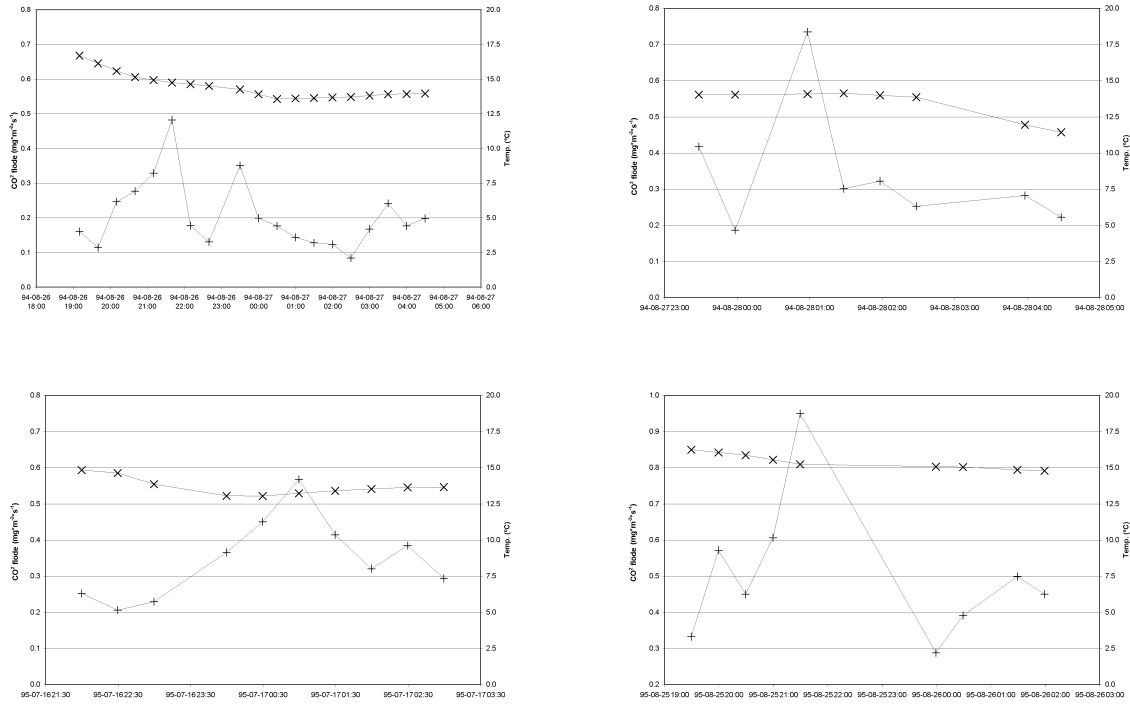
Forts. **Figur A 2.**



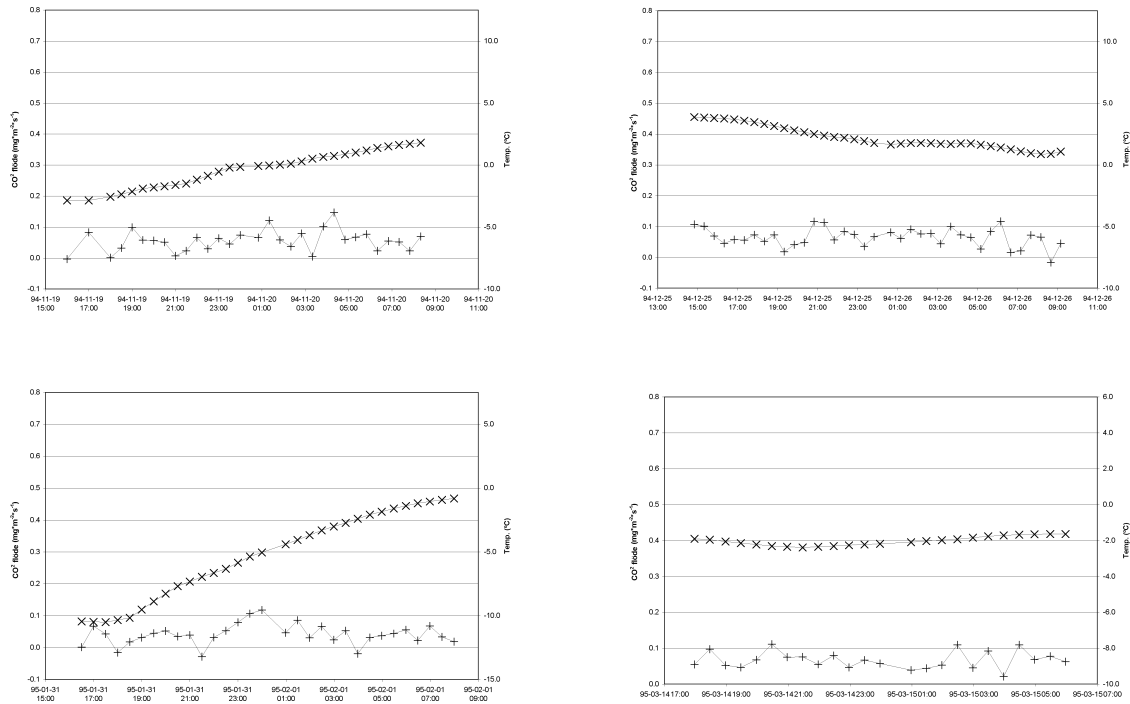
Figur A 3. Temperaturnormaliserat koldioxidflöde plottat mot stabiliteten, uppdelat efter vindriktning.



Forts. **Figur A 3.**



Figur A 4. Temperatur och koldioxidflöde under enskilda sommarnätter.



Figur A 5. Temperatur och koldioxidflöde under enskilda vinternätter.

Lunds Universitets Naturgeografiska institution. Seminarieuppsatser. Uppsatserna finns tillgängliga på Naturgeografiska institutionens bibliotek, Sölvegatan 13, 223 62 LUND.

The reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography, University of Lund, Sölvegatan 13, S-223 62 Lund, Sweden.

1. Pilesjö, P. (1985): Metoder för morfometrisk analys av kustområden.
2. Ahlström, K. & Bergman, A. (1986): Kartering av erosionskänsliga områden i Ringsjöbygden.
3. Huseid, A. (1986): Stormfällning och dess orsakssamband, Söderåsen, Skåne.
4. Sandstedt, P. & Wällstedt, B. (1986): Krankesjön under ytan - en naturgeografisk beskrivning.
5. Johansson, K. (1986): En lokalklimatisk temperaturstudie på Kungsmarken, öster om Lund.
6. Estgren, C. (1987): Isälvsstråket Djurfälla-Flädermo, norr om Motala.
7. Lindgren, E. & Runnström, M. (1987): En objektiv metod för att bestämma läplanteringsläverkan.
8. Hansson, R. (1987): Studie av frekvensstyrd filtringsmetod för att segmentera satellitbilder, med försök på Landsat TM-data över ett skogsområde i S. Norrland.
9. Matthiesen, N. & Snäll, M. (1988): Temperatur och himmelsexponering i gator: Resultat av mätningar i Malmö.
- 10A. Nilsson, S. (1988): Veberöd. En beskrivning av samhällets och bygdens utbyggnad och utveckling från början av 1800-talet till vår tid.
- 10B. Nilson, G., 1988: Isförhållande i södra Öresund.
11. Tunving, E. (1989): Översvämning i Murcia provinsen, sydöstra Spanien, november 1987.
12. Glave, S. (1989): Termiska studier i Malmö med värmebilder och konventionell mätutrustning.
13. Mjölbo, Y. (1989): Landskapsförändringen - hur skall den övervakas?
14. Finnander, M-L. (1989): Vädrets betydelse för snöavsmältningen i Tarfaladalen.
15. Ardö, J. (1989): Samband mellan Landsat TM-data och skogliga beståndsdata på avdelningsnivå.
16. Mikaelsson, E. (1989): Byskeälvens dalgång inom Västerbottens län. Geomorfologisk karta, beskrivning och naturvärdesbedömning.
17. Nhilen, C. (1990): Bilavgaser i gatumiljö och deras beroende av vädret. Litteraturstudier och mätning med DOAS vid motortrafikled i Umeå.
18. Brasjö, C. (1990): Geometrisk korrektion av NOAA AVHRR-data.
19. Erlandsson, R. (1991): Vägbanetemperaturer i Lund.
20. Arheimer, B. (1991): Näringsläckage från åkermark inom Brååns dräneringsområde. Lokalisering och åtgärdsförslag.
21. Andersson, G. (1991): En studie av transversal moräner i västra Småland.
- 22A. Skillius, Å., (1991): Water harvesting in Bakul, Senegal.
- 22B. Persson, P. (1991): Satellitdata för övervakning av höstsådda rapsfält i Skåne.
23. Michelson, D. (1991): Land Use Mapping of the That Luang - Salakham Wetland, Lao PDR, Using Landsat TM-Data.
24. Malmberg, U. (1991): En jämförelse mellan SPOT- och Landsatdata för vegetationsklassning i Småland.
25. Mossberg, M. & Pettersson, G. (1991): A Study of Infiltration Capacity in a Semiarid Environment, Mberengwa District, Zimbabwe.
26. Theander, T. (1992): Avfallsupplag i Malmöhus län. Dränering och miljöpåverkan.

27. Osaengius, S. (1992): Stranderosion vid Löderups strandbad.
28. Olsson, K. (1992): Sea Ice Dynamics in Time and Space. Based on upward looking sonar, satellite images and a time series of digital ice charts.
29. Larsson, K. (1993): Gully Erosion from Road Drainage in the Kenyan Highlands. A Study of Aerial Photo Interpreted Factors.
30. Richardson, C. (1993): Nischbildningsprocesser - en fältstudie vid Passglaciären, Kebnekaise.
31. Martinsson, L. (1994): Detection of Forest Change in Sumava Mountains, Czech Republic Using Remotely Sensed Data.
32. Klintonberg, P. (1995): The Vegetation Distribution in the Kärkevagge Valley.
33. Hese, S. (1995): Forest Damage Assessment in the Black Triangle area using Landsat TM, MSS and Forest Inventory data.
34. Josefsson, T. och Mårtensson, I. (1995). A vegetation map and a Digital Elevation Model over the Kapp Linné area, Svalbard -with analyses of the vertical and horizontal distribution of the vegetation
35. Brogaard, S och Falkenström, H. (1995). Assessing salinization, sand encroachment and expanding urban areas in the Nile Valley using Landsat MSS data.
36. Krantz, M. (1996): GIS som hjälpmedel vid växtskyddsrådgivning.
37. Lindegård, P. (1996). VINTERKLIMAT OCH VÅRBAKSLAG. Lufttemperatur och kådflödessjuka hos gran i södra Sverige.
38. Bremborg, P. (1996). Desertification mapping of Horqin Sandy Land, Inner Mongolia, by means of remote sensing.
39. Hellberg, J. (1996). Förändringsstudie av jordbrukslandskapet på Söderslätt 1938-1985.
40. Achberger, C. (1996): Quality and representability of mobile measurements for local climatological research.
41. Olsson, M. (1996): Extrema lufttryck i Europa och Skandinavien 1881-1995.
42. Sundberg, D. (1997): En GIS-tillämpad studie av vattenerosion i sydsvensk jordbruksmark.
43. Liljeberg, M. (1997): Klassning och statistisk separabilitetsanalys av marktäckningsklasser i Halland, analys av multivariata data Landsat TM och ERS-1 SAR.
44. Roos, E. (1997): Temperature Variations and Landscape Heterogeneity in two Swedish Agricultural Areas. An application of mobile measurements.
45. Arvidsson, P. (1997): Regional fördelning av skogsskador i förhållande till mängd SO₂ under vegetationsperioden i norra Tjeckien.
46. Akselsson, C. (1997): Kritisk belastning av aciditet för skogsmark i norra Tjeckien.
47. Carlsson, G. (1997): Turbulens och supraglacial meandring.
48. Jönsson, C. (1998): Multitemporala vegetationsstudier i nordöstra Kenya med AVHRR NDVI
49. Kolmert, S. (1998): Evaluation of a conceptual semi-distributed hydrological model – A case study of Hörbyån.
50. Persson, A. (1998): Kartering av markanvändning med meteorologisk satellitdata för förbättring av en atmosfärisk spridningsmodell.
51. Andersson, U. och Nilsson, D. (1998): Distributed hydrological modelling in a GIS perspective – an evaluation of the MIKE SHE model.
52. Andersson, K. och Carlstedt, J. (1998): Different GIS and remote sensing techniques for detection of changes in vegetation cover - A study in the Nam Ngum and Nam Lik catchment areas in the Lao PDR.
53. Andersson, J., (1999): Användning av global satllitdata för uppskattning av spannmålsproduktion i västafrikanska Sahel.

54. Flodmark, A.E., (1999): Urban Geographic Information Systems, The City of Berkeley Pilot GIS
- 55A. Lyborg, Jessic & Thurfell, Lilian (1999): Forest damage, water flow and digital elevation models: a case study of the Krkonose National Park, Czech Republic.
- 55B. Tagesson, I., och Wramneby, A., (1999): Kväveläckage inom Tolångaåns dräneringsområde – modellering och åtgärdssimulering.
56. Almkvist, E., (1999): Högfrekventa tryckvariationer under de senaste århundradena.
57. Alstorp, P., och Johansson, T., (1999): Översiktlig buller- och luftföroreningsinventering i Burlövs Kommun år 1994 med hjälp av geografiska informationssystem – möjligheter och begränsningar.
58. Mattsson, F., (1999): Analys av molnklotter med IRST-data inom det termala infraröda våglängdsområdet
59. Hallgren, L., och Johansson, A., (1999): Analysing land cover changes in the Caprivi Strip, Namibia, using Landsat TM and Spot XS imagery.
60. Granhäll, T., (1999): Aerosolers dygnsvariationer och långväga transporter.
61. Kjellander, C., (1999): Variations in the energy budget above growing wheat and barley, Ilstorp 1998 - a gradient-profile approach
62. Moskvitina, M., (1999): GIS as a Tool for Environmental Impact Assessment - A case study of EIA implementation for the road building project in Strömstad, Sweden
63. Eriksson, H., (1999): Undersökning av sambandet mellan strålningstemperatur och NDVI i Sahel.
64. Elmqvist, B., Lundström, J., (2000): The utility of NOAA AVHRR data for vegetation studies in semi-arid regions.
65. Wickberg, J., (2000): GIS och statistik vid dräneringsområdesvis kväveläckagebeskrivning i Halland
66. Johansson, M., (2000): Climate conditions required for re-glaciation of cirques in Rasepautasjtjåkka massif, northern Sweden.
67. Asserup, P., Eklöf, M., (2000): Estimation of the soil moisture distribution in the Tamne River Basin, Upper East Region, Ghana.
68. Thern, J., (2000): Markvattenhalt och temperatur i sandig jordbruksmark vid Ilstorp, centrala Skåne: en mättnings- och modelleringsstudie.
69. Andersson, C., Lagerström, M., (2000): Nitrogen leakage from different land use types - a comparison between the watersheds of Graisupis and Vardas, Lithuania.
70. Svensson, M., (2000): Miljökonsekvensbeskrivning med stöd av Geografiska Informationssystem (GIS) – Bullerstudie kring Malmö-Sturup Flyplats.
71. Hyltén, H.A., Ugglå, E., (2000): Rule-Based Land Cover Classification and Erosion Risk Assessment of the Krkonose National Park, Czech Republic.
72. Cronquist, L., Elg, S., (2000): The usefulness of coarse resolution satellite sensor data for identification of biomes in Kenya.
73. Rasmusson, A-K., (2000) En studie av landskapsindex för kvantifiering av rumsligalandskapsmönster.
74. Olofsson, P., Stenström, R., (2000): Estimation of Leaf Area Index in Southern Sweden with Optical Modelling and a Landsat 7 ETM+ Scene.
75. Ugglå, H., (2000): En analys av nattliga koldioxidflöden i en boreal barrskog avseende spatial och temporal variation.