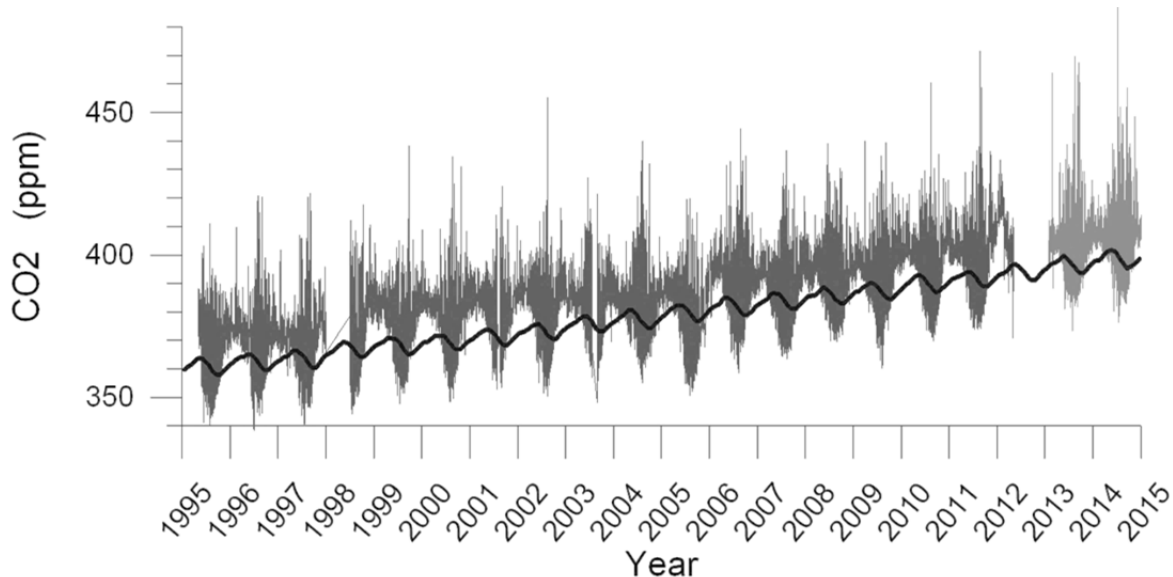


Europeisk satsning kartlägger kolbalansen – några exempel från ICOS Swedens mätstationer

ICOS har byggts upp för att kartlägga växthusgasflödena i Europa och ICOS Sweden är det svenska bidraget till denna europeiska forskningsinfrastruktur. Hur kan då dessa flöden kartläggas? Nedan har vi samlat några exempel från våra mätningar vid ICOS Swedens mätstationer. Exempelen illustrerar hur flöden av växthusgaser kan studeras och därmed hur ländernas internationella åtaganden kan följas upp. Vi illustrerar också hur våra mätdata kan användas för att studera effekten av ett framtida klimat på våra ekosystem både genom fältstudier och genom modelleringsförsök. Testen är uppdelad i fyra frågor under vilka resultat från våra mätningar visas i figurer och med förklarande text.

1. Kan man se att växthusgaserna i atmosfären ökar?

Koldioxidkoncentrationen i atmosfären ökar år för år. Det visar mätningar sedan 1950-talet från Mauna Loa, Hawaii. Mätningarna vid ICOS Swedens station Norunda visar samma trend som den långsiktiga mätserien från Mauna Loa (fig. 1). Trots de åtaganden om minskande utsläpp som togs redan i Kyoto 1997 (Kyotoprotokollet) och förlängdes på konferensen i Doha 2012 fortsätter koldioxidkoncentrationen att öka i atmosfären i en oroande takt. Koncentrationerna i Norunda är högre än i Mauna Loa genom att luften i Norunda är mer påverkad av antropogena utsläpp i norra och centrala Europa.

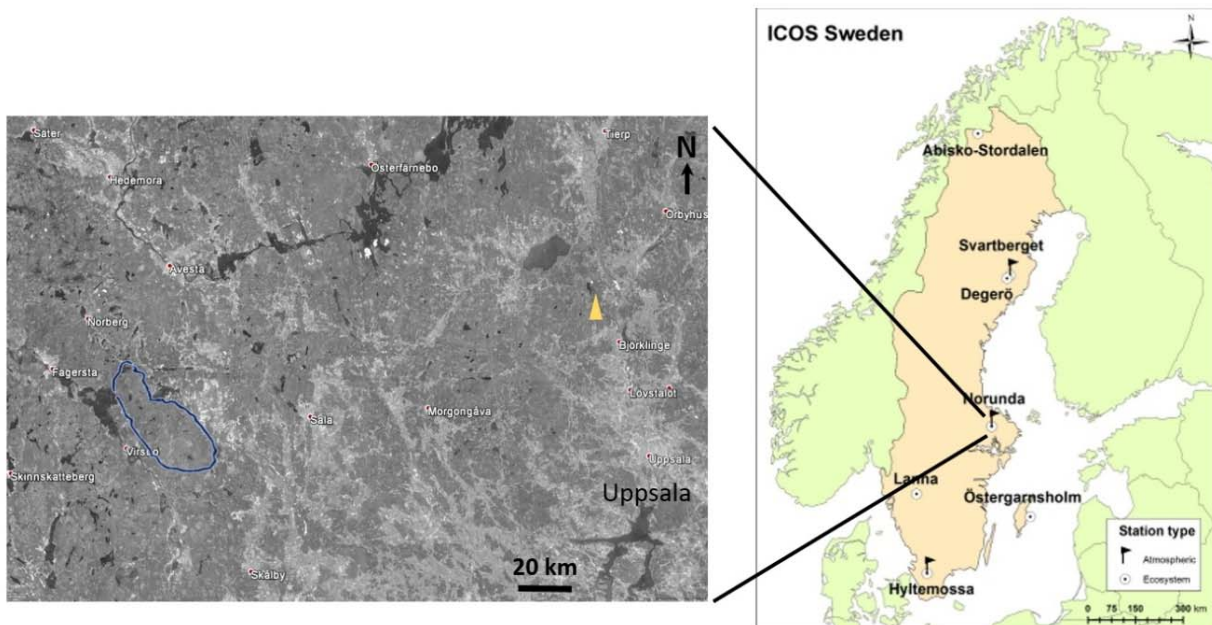


Figur 1: Tvåtimmarsmedelvärden av koldioxidkoncentrationen över skogen i Norunda. Mörkgrå färg visar mätningar med liknande system som används i ICOS innan ICOS mätningar startade. Ljusgrå färg visar ICOS mätningar. Svart kurva visar månadsmedelvärden från Mauna Loa, Hawaii Orsaken till att koncentrationerna i luften över skogen i Norunda uppvisar större variationer än värdena från Mauna Loa beror främst på skillnaderna i tidsupplösning; två timmarsmedelvärden respektive månadsmedelvärden.

2. Vid det kommande klimatmötet i Paris i slutet av månaden är det tänkt att världens länder ska enas om förnyade internationella åtaganden när det gäller att minska utsläppen av växthusgaser. Hur kan vi övervaka att dessa överenskommelser verkligen efterföljs? Och att de åtgärder som sätts in verkligen har den effekt som det är tänkt?

Inom ramen för forskningsinfrastrukturen ICOS mäts luftens koncentrationer av växthusgaser. Denna luft kan sedan med hjälp av meteorologiska modeller länkas till vilken plats den har passerat och därigenom var ett visst utsläpp kommer ifrån. Dessutom kan man genom att mäta flera olika gaser samt deras isotopsammansättning ta reda på vad som orsakat utsläppet. Man kan till exempel se om det är nu levande växter eller fossila sådana (till exempel olja eller kol) som förbränts och orsakat emissionen av koldioxid från platsen i fråga. Olika analyser kan sedan kombineras för att visa hur stora emissionerna är från ett visst område över en viss tid.

Ett exempel på hur en viss händelse kan spåras i mätningarna visas nedan. Mätningarna är från Norunda (fig. 3) och visar hur skogsbranden i Västmanland sommaren 2014 (fig. 2) påverkade koncentrationerna av kolmonoxid i atmosfären när vinden blåste från brandområdet. Kolmonoxid bildas vid ofullständig förbränning som är vanligt vid skogsbränder. Koncentrationen varierar tydligt beroende på om luften hade passerat över brandområdet eller inte.



Figur 2: Området som drabbades av skogsbranden sommaren 2014 är markerat med blå färg ICOS Swedens mätstation i Norunda är markerat med en gul triangel.

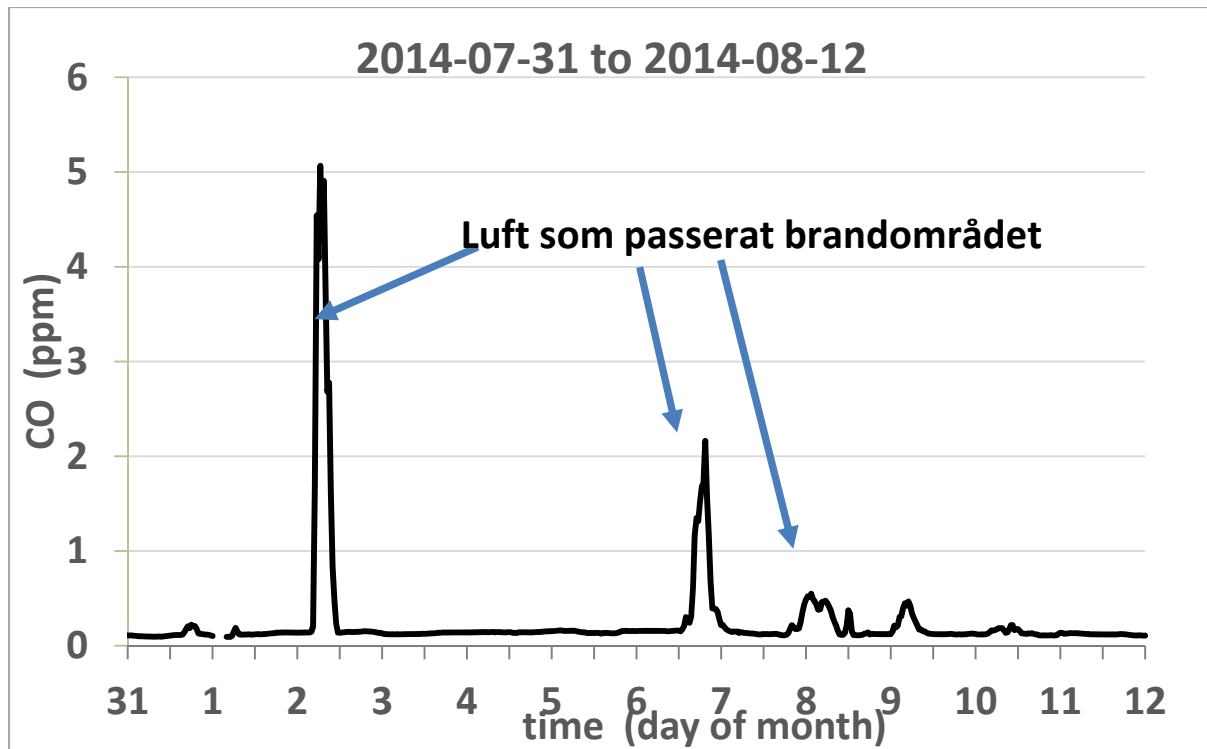
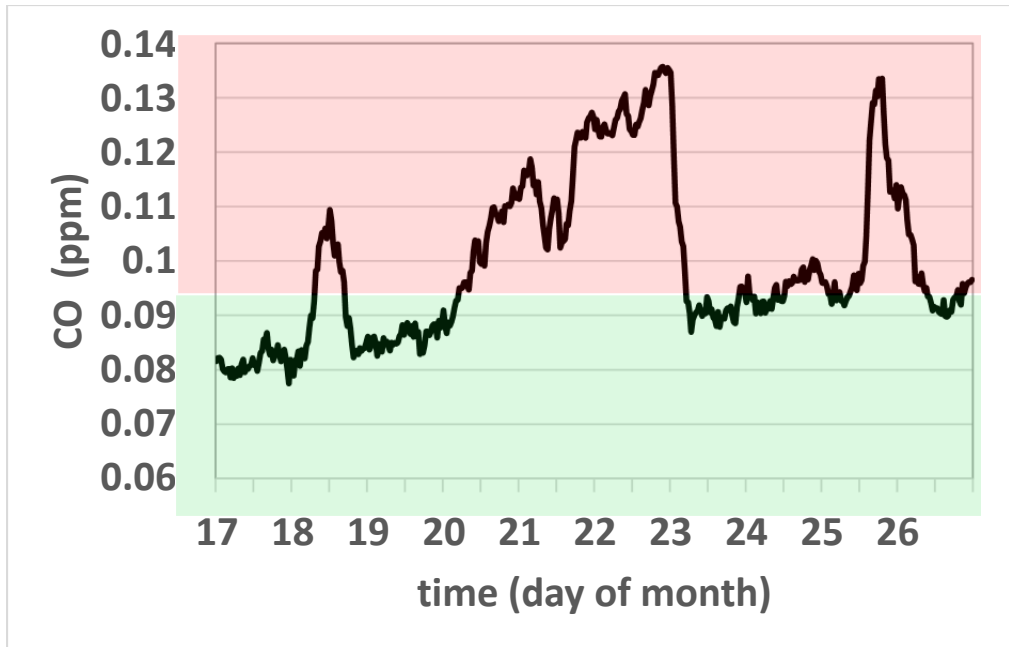
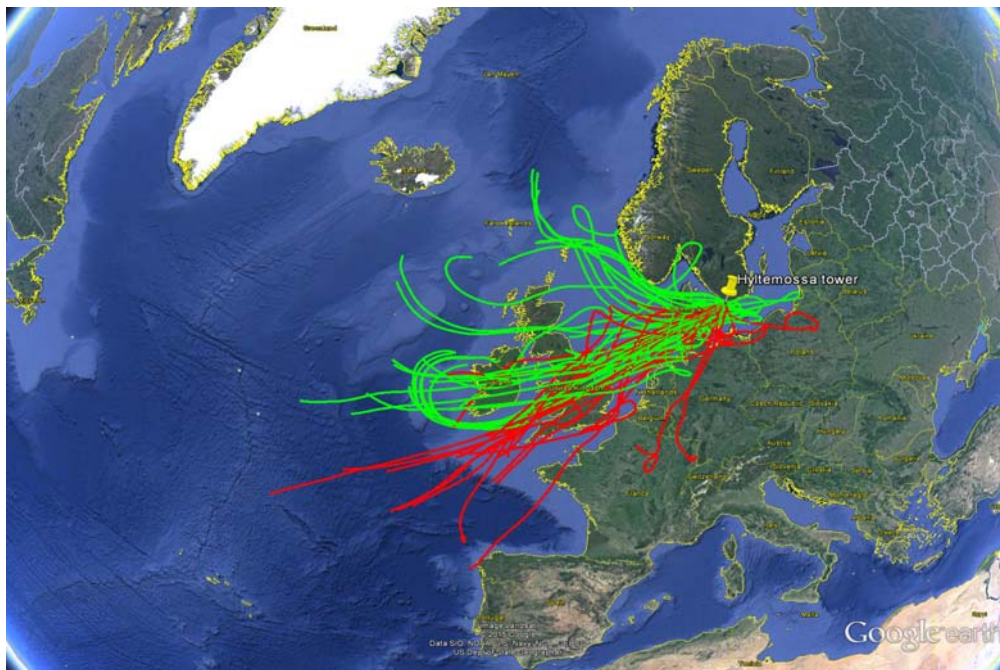


Fig. 3: Kolmonoxidkoncentrationen i Norunda uppmätt i det höga tornet på höjden 59 meter över marken. De kraftiga topparna den 2, 6 och 8 augusti inträffade vid tillfällena då vinden var västlig och hade passerat över brandområdet.

Kolmonoxidmätningar vid ICOS Swedens station Hyltemossa visar att luften från olika områden för med sig olika koncentrationer av kolmonoxid. Genom att beräkna sk trajektorier kan man se hur luften rör sig och när den befunnit sig över ett visst område. Kartan visar sådana trajektorier framtagna med NOAA HYSPLIT trajektoriemodell (fig. 5) och färgerna motsvarar tidpunkter i diagrammet (fig. 4) när den uppmätta koncentrationen varit hög (röd) eller låg (grön). De gröna trajektorierna visar luft som rör sig i en mer västlig och nordvästlig riktning jämför med de röda, som är mer sydvästliga. Den sydvästliga luften rör sig över större landområden än den västliga/nordvästliga och över områden med industrier och antropogena utsläpp vilket leder till högre kolmonoxidkoncentrationer.



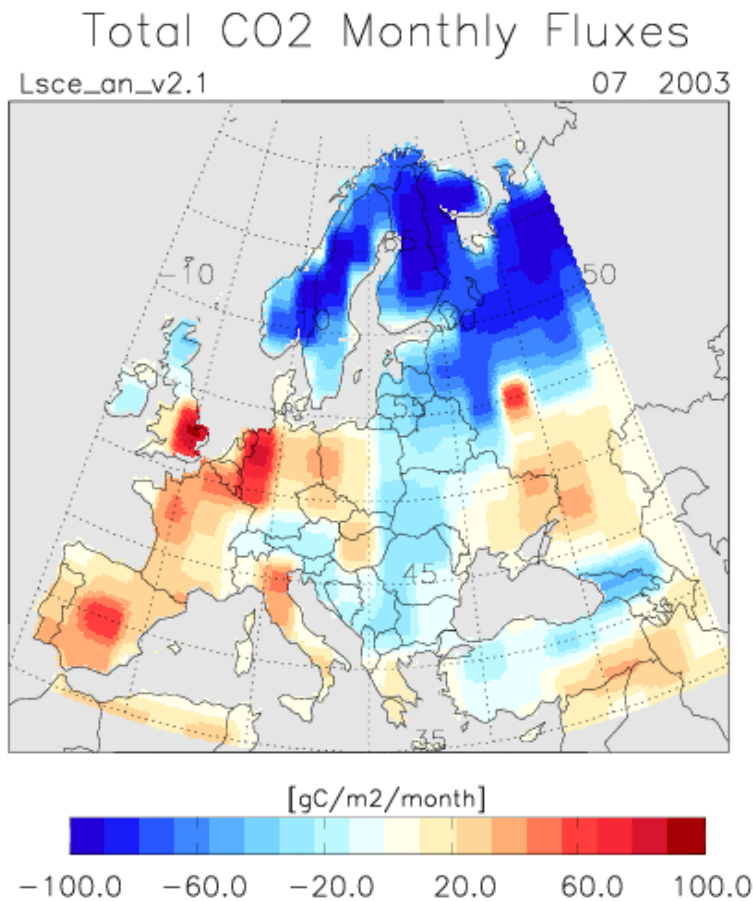
Figur 4: Kolmonoxidkoncentrationer uppmätta vid ICOS Swedens mätstation Hyltemossa mellan den 17 och 27 juli 2015. Grönmarkerat område anger perioder med lägre kolmonoxidkoncentrationer (< 100 ppb) och rödmarkerade områden anger perioder med högre koncentrationer (> 100 ppb).



Figur 5: Modellerade trajektorier (72 h) till Hyltemossa. Gröna linjer indikerar lägre kolmonoxidkoncentrationer (< 100 ppb) och röda linjer indikerar högre koncentrationer (> 100 ppb) enligt fig.4.

3. Naturen och vegetationen påverkas av klimatet och dess förändring och påverkar också själv klimatet. Till exempel minskar vegetationen koldioxidhalten i atmosfären genom fotosyntesen som leder till vegetationens tillväxt. Vad kommer att hända i framtiden? Hur kan naturen anpassa sig till de stora förändringar som är att vänta? Och kommer den att ge oss den "ekosystemservice" som vi får nu – det vill säga att den agerar som en sänka för de utsläpp vi genererar idag?

I den europeiska infrastrukturen ICOS RI deltar ett antal länder och det går därmed att kombinera mätningar över ett större geografiskt område så att det går att få en uppfattning av den geografiska fördelningen av källor och sänkor för växthusgaser. Ett exempel från en "föregångare" till ICOS RI visar hur en extrem situation påverkade naturen i Europa (fig. 6). I normalfallet tar växande vegetation under sommaren upp mer koldioxid än som avges i samband med fotosyntesen. Under sommaren 2003, som var extremt varm och torr, ändrades förhållandena och stora delar av Centraleuropa förvandlades till en källa för växthusgaser istället.



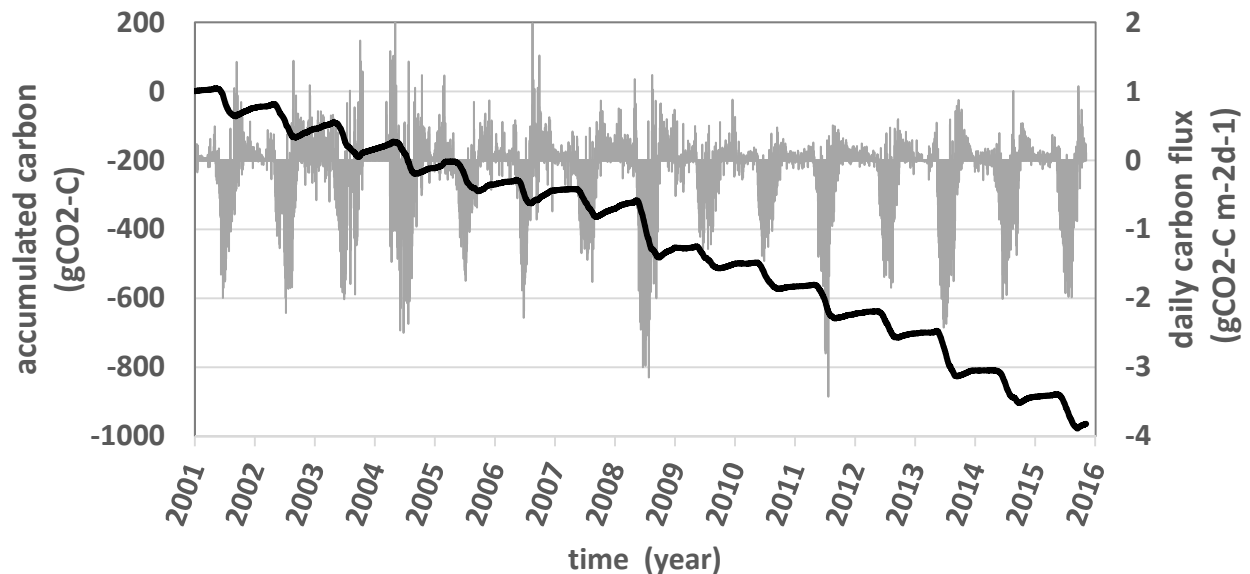
Figur 6: Karta över koldioxidupptag/emissioner över Europa, juli 2003. Negativa värden = upptag av koldioxid, positiva värden = utsläpp. Hämtad från CarboScope, ett analysverktyg som togs fram under ICOS RIs utvecklingsfas som exempel på information att presenteras av ICOS RI. Kartan visar månadsdata med en geografisk upplösning på ca 100 km. ICOS RI kommer att producera liknande kartor veckovis med en upplösning på ca 25 km och för flera olika växthusgaser.

Temperaturen under sommaren 2003 var extrem i dagens klimat men motsvarar hur klimatet i medeltal kan se ut i slutet av århundradet. Med hjälp av denna typ av analyser kan vi alltså förstå hur framtidens klimat kan komma att påverka vegetationen och hur den i sin tur påverkar klimatet. I ICOS RIs uppgifter ingår att producera både grunddata för vetenskapliga analyser och syntesprodukter i form av kartor för uppföljning av både hur det normala klimatet och extremsituationer påverkar kolflödet i naturen. Genom att samordna mätningarna vad gäller typ av instrument och mätmetoder kan geografiska variationer över hela Europa jämföras.

4. Boreala ekosystem har stora mängder kol inlagrade i mark och vegetation. Samtidigt förväntas klimatet förändras snabbast i dessa områden. Hur kan vi ta reda på hur dessa system påverkas av ett det förändrade klimatet?

ICOS Swedens mätstationer representerar ekosystem i bland annat boreala miljöer, det vill säga områden i den tempererade zonen som karakteriseras av barrskog- och tundra. Genom att mäta både omsättningen av kol i ekosystemen och meteorologiska och hydrologiska faktorer samt studera hur vegetationen utvecklas kan vi förstå hur dessa ekosystem och deras omsättning av kol fungerar och påverkas av till exempel klimatet.

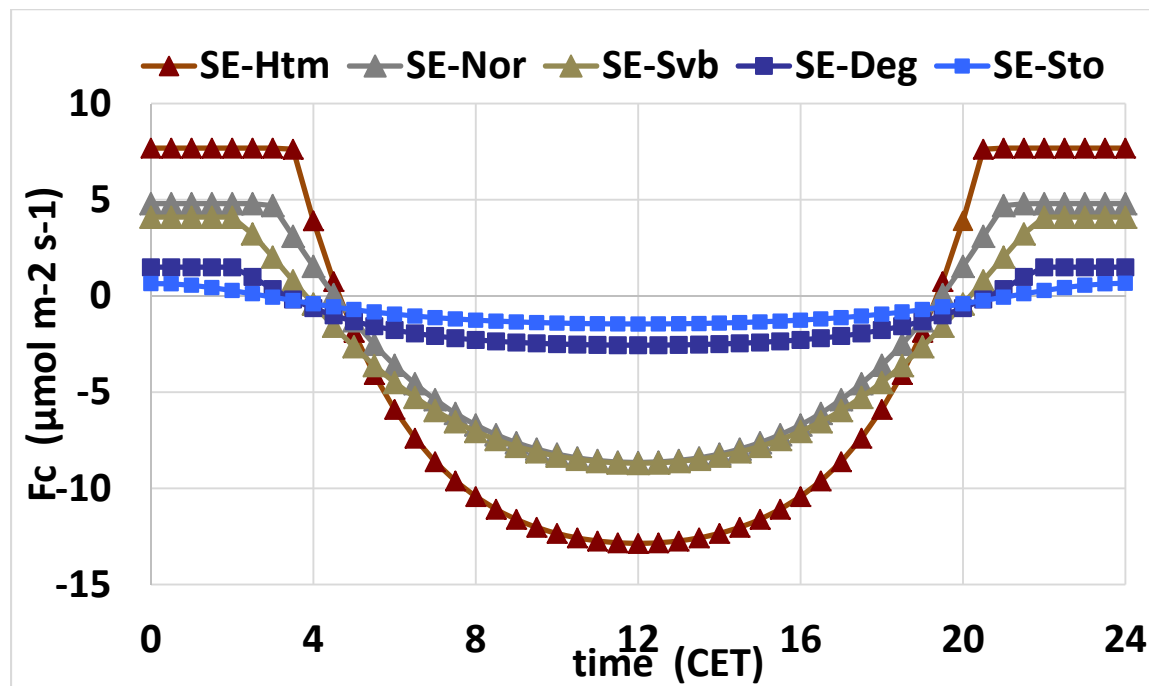
Upptaget av koldioxid på Degerö Stormyr varierar över året på ett systematiskt sätt(fig. 7). Vegetationen tar upp kol genom fotosyntesen, samtidigt kommer en del kol att avges när markens växter och djur förbrukar kolet genom respirationen.



Figur 7: Årliga variationer i koldioxidflödena vid Degerö Stormyr. Grå staplar visar dygnsvärden och svart linje visar summerade värden (det vill säga värden läggs till summan dag för dag). I ett dygnsvärde ingår både upptag av kol genom fotosyntes och avgivande av kol genom respiration från växt och mark. Negativa värden motsvarar nettoupptag av koldioxid (flöden från atmosfären till ekosystemet), positiva värden motsvarar en nettoemission.

Under sommaren och dygnets ljusa tider överstiger upptaget förlusten av kol genom respiration och det blir ett nettoupptag. I mörker och utanför växtsäsongen blir det istället ett nettoavgivande av kol. För att få fram hur stor kolsänka ett ekosystem är beräknas därför summan över ett eller flera år. Mätningar av den typ som ICOS genomför har pågått på Degerö Stormyr i de senaste 15-20 åren och under den tiden har myren kontinuerligt fungerat som en sänka för koldioxid.

Med ICOS kan vi alltså studera hur de typiska nordiska ekosystemen fungerar som kolsänka och hur de reagerar på olika väderlek och andra faktorer. Men vi vill också ha mer generell information om vad som styr ekosystemens funktion och utveckling. En viktig del av ICOS åtaganden är därför också att ta fram information till modeller, till exempel klimat- och vegetationsmodeller. Med dessa kan man studera hur det framtida klimatet kan påverka ekosystemen, deras funktion och de så kallade ekosystemtjänster som vi kan få från naturen. Ekosystemtjänster kan till exempel vara pollinering för produktion av mat och naturens egen fortlevnad. En annan tjänst är begränsning av effekterna av det förändrade klimatet i form av att agera som en kraftfull kolsänka. Effekter av en ändrad markanvändning, till exempel avverkning av skog för odling eller plantering av skog på åkermark, kan också studeras. Det sistnämnda är en åtgärd som kan användas för att öka koluttaget från atmosfären och erkänns av klimatkonventionen (LULUCF aktiviteter, artikel 4 UNFCCC).

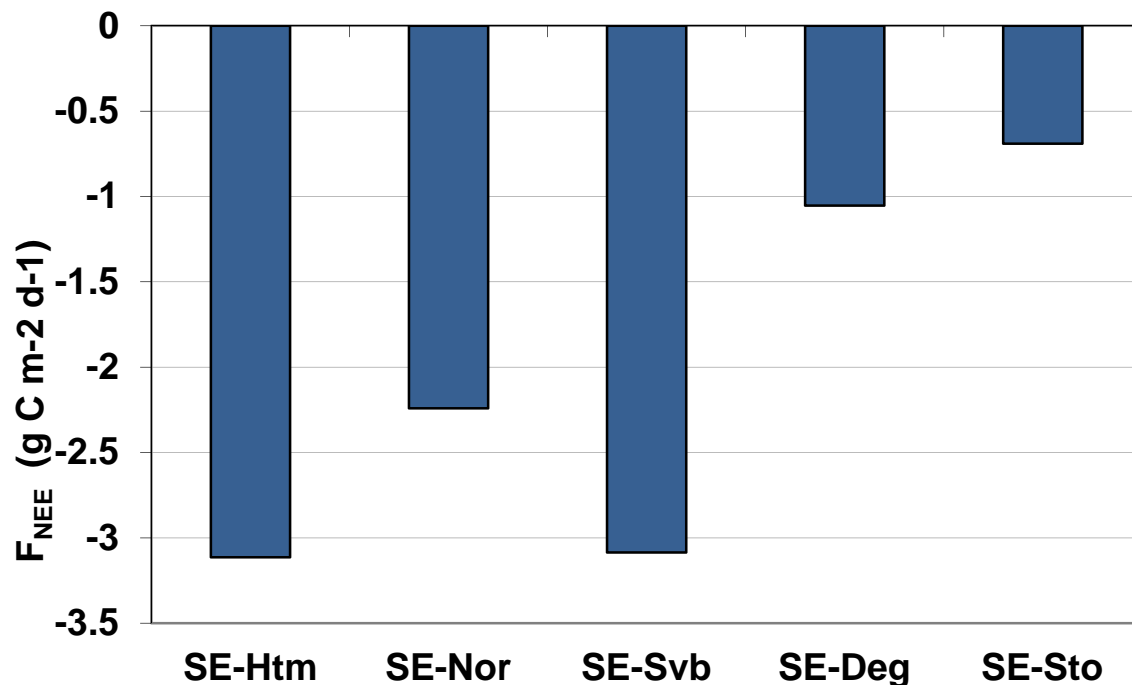


Figur 8: Modellerat koldioxidutbyte mellan ICOS Swedens boreala ekosystem och atmosfären under ett sommarydgn. Negativa värden = upptag av koldioxid, positiva värden = utsläpp. Modellen baseras på Michaelis-Mentens ljusresponskurva för data uppmätt vid de olika mätstationerna under 2014 och 2015 då lufttemperaturen är över 10 °C. Den inkommande solstrålningen avser molnfria förhållanden den 10 juli. SE-Htm = Hyltemossa, SE-Nor = Norunda, SE-Svb = Svartberget, SE-Deg = Degerö och SE-Sto = Stordalen.

Ekosystemen är olika bra på att ta upp kol från atmosfären. I figur 8 och 9 visas hur stort kolupptaget varierar under en typisk solig sommardag vid våra ICOS Sweden mätstationer (här exemplifierat med skog och myrmark).

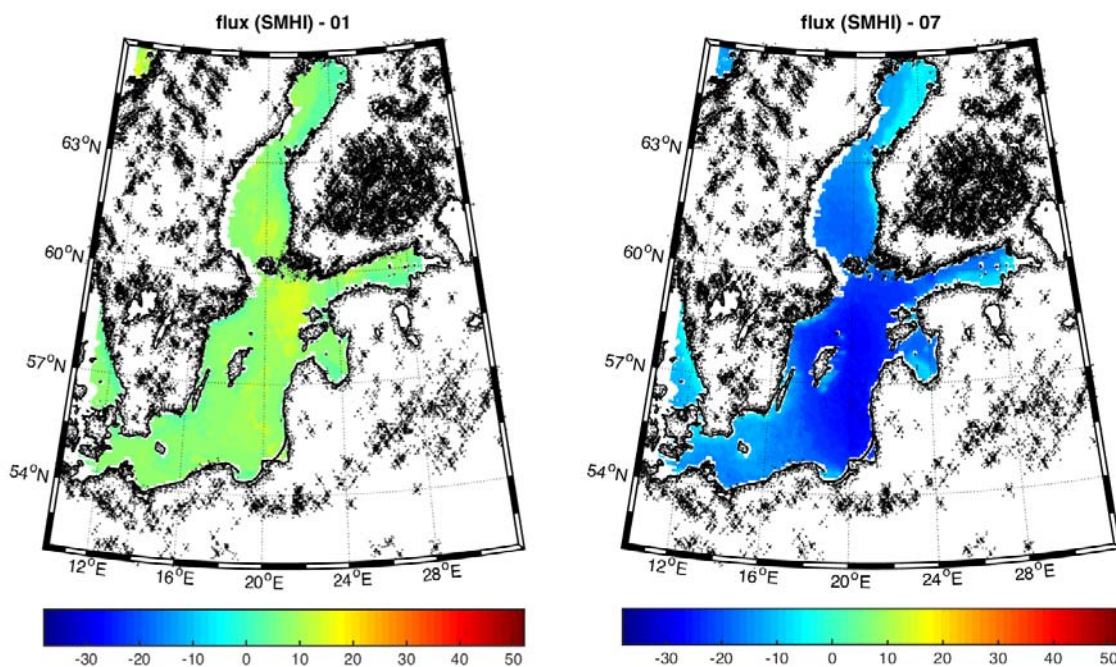
Myrmarkernas variation i kolupptaget varierar inte lika mycket över dygnet som skogarna (fig. 8). Den sydliga, unga skogen i Hyltemossa har störst dygnsvariation. Lägg märke till att skogen i Norunda och Svartberget har i stort sett samma dygnsvariation men att upptaget i Norunda för hela dygnet är betydligt lägre i Norunda än i Svartberget och Hyltemossa (fig. 9). Variationen mellan ekosystem är inte helt oväntat stor men trots liknande ekosystem kan variationerna ändå vara betydande.

Resultaten i figur 8 och 9 grundar sig på framtagna samband mellan solinstrålning och nettokolupptag. Detta samband har sedan använts för att modellera typvärden för kolbalansen vid de olika ekosystemen. På samma sätt kan andra samband etableras mellan olika faktorer och dessa kan sedan användas i till exempel en vegetationsmodell. Låter man sedan vegetationsmodellen baseras på det framtida klimatet kan man studera effekten av detta klimat på ett ekosystem, det vill säga studera vad som kan hända i ett klimat som ännu inte finns. Exemplet nedan är mycket förenklat men illustrerar väl skillnaderna mellan de olika ekosystemen i deras förmåga att ta upp och omsätta kolet i atmosfären.



Figur 9: Totalt kolupptag under ett sommardygnet baserat på modellerat koldioxidutbyte mellan ICOS Swedens ekosystem och atmosfären. Modellen baseras på Michaelis-Mentens ljusresponskurva för data uppmätt vid de olika mätstationerna under 2014 och 2015 då lufttemperaturen är över 10 °C. Den inkommande solstrålningen avser molnfria förhållanden den 10 juli. SE-Htm = Hyltemossa, SE-Nor = Norunda, SE-Svb = Svartberget, SE-Deg = Degerö och SE-Sto = Stordalen.

Figur 10 visar upptag och utsläpp av koldioxid från Östersjön i för januari och juli. För att kunna få en heltäckande bild av upptag och utsläpp för hela Östersjön har en modell tagits fram som bygger på mätdata från Östergarnsholms station och satellitdata, genom att beskriva sambandet mellan koldioxidflödet och vattentemperatur, vindhastighet, klorofyllhalt och vattnets brunhet. Satelliter ger dessa variabler och genom att använda satellitinformation som indata i modellen kan en heltäckande bild av Östersjöns koldioxidflöde tas fram. Under sommaren tar Östersjön upp koldioxid medan den under vintern släpper ut koldioxid till atmosfären. Det är den biologiska aktiviteten som styr säsongscykeln av upptaget i Östersjön. Under sommarhalvåret leder den kraftiga biologiska aktiviteten till att koldioxidhalten minskar och upptaget ökar. Under vintern bryts biologiskt material ned, koldioxidhalten ökar och Östersjön blir då en källa av koldioxid för atmosfären.



Figur 10: Upptag och utsläpp av koldioxid ($\text{mmol}/(\text{m}^2/\text{dygn})$) från Östersjön skattat med hjälp av satellitbilder och data från Östergarnsholm. Medelvärde för januari 1999-2012 (överst) och juli 1999-2012 (nederst). Negativa värden motsvarar upptag av koldioxid medan positiva värden motsvarar utsläpp. Från Parard et al (2015), JGR Biogeosciences.