

# Lustgasemission från odling på lerjordar; med en systemanalys över de Svenska lustgasemissionerna

Projektnummer: 0248006 Projektledare: Leif Klemetsson

## Summary

Nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ) is a strong greenhouse gas (about 300 times stronger than carbon dioxide) and emissions from agriculture dominate anthropogenic sources. The project's main aim was to determine the emissions from Swedish clay soils and compare these with European data. The emissions were lower than expected, with a mean of  $0.68 \text{ kg N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  during 2008-2010, but within the IPCC lower confidence interval. Emissions during the "non-growing season" dominated, and emissions were higher during mild winters than colder ones. The fluxes were measured using the micrometeorological gradient technique. A second aim was to improve the mechanistic CoupModel's capacity to describe  $\text{N}_2\text{O}$  emissions from agricultural soils. However, due to the low emissions in relation to the overall N-cycling, it was not possible to improve the model based on the flux measurements from Lanna. This was done later using micrometeorological data and emissions from a willow plantation fertilized with sewage sludge, which resulted in higher emissions that were used to refine the parametrizations of the equations in the model. As a result of the project, the Lanna station now is a part of ICOS (Integrated Carbon Observing System; [www.icos-ri.eu](http://www.icos-ri.eu)) that is the ERIC (European Research Infrastructure Consortium) for measuring greenhouse gases. Lanna is the only ICOS agricultural site in Sweden.

## Bakgrund

$\text{N}_2\text{O}$  är ca 265 ggr mer potent växthusgas än koldioxid och har en mycket lång (mer än 100 år) halveringstid i atmosfären, varför koncentrationen i atmosfären under lång tid kommer att vara hög även om tillförseln nu minskar (Myhre et al., 2013). Enligt IPCC måste antropogena  $\text{N}_2\text{O}$ -emissioner kraftigt reduceras med minst 50 %. Jordbruket är orsak till de största  $\text{N}_2\text{O}$ -emissionerna, såväl nationellt som internationellt (Crutzen et al., 2008; IPCC, 2007). All biomassaproduktion kräver kväve oavsett om det är mat eller biobränsle som produceras. Det är när kväve finns i överskott i förhållande till växtens behov som risken är stor att det bildas lustgas i jorden av mikroorganismer (Wang & Bakken 1997; Korsath et al. 2001, Butterbach-Bahl et al., 2013). Kopplingen mellan biomassaproduktion och kväve gör att lustgas alltid kommer att avgå från odlingar, men att det också finns möjligheter att begränsa utsläppen. Europaparlamentet har tagit beslut om en satsning på hållbar biobränsleproduktion som ska bespara atmosfären tillförsel av klimatgaser, med hållbarhetsmålet som kräver 35 % mindre växthusgaser jämfört med fossil bränsleanvändning, och år 2017 kommer gränsen att skäras till 50 % (EU direktiv 98/70/EG).

Eftersom  $\text{N}_2\text{O}$ -avgång från jordbruksmark är stor är det viktigt att utreda möjliga åtgärder. Problemet är att vi saknar en enkel och tillförlitlig metod som kan uppskatta  $\text{N}_2\text{O}$ -emissionen (Kasimir Klemetsson 2009). I denna rapport visades att det inte är lätt att föreslå en enkel alternativ metod, eftersom avgången av  $\text{N}_2\text{O}$  styrs av många och komplext interagerande påverkansfaktorer. Slutsatsen blev att det behövs en processbaserad modell, som t.ex. CoupModellen för att beräkna  $\text{N}_2\text{O}$ -emissioner och analysera de viktigaste påverkansfaktorerna. Den metod för beräkning av  $\text{N}_2\text{O}$  som vanligen används är IPCCs enklaste metod (kallad Tier1), där  $\text{N}_2\text{O}$  från åkermark beräknas på en enda faktor, kvävetillförsel till fältet; i handelsgödsel, stallgödsel och skörderester. Syftet med Tier1 är att alla stater på ett enkelt vis ska kunna uppskatta nationella emissioner, för att rapportera till UNFCCC (Förenta Nationernas Ramkonvention om Klimatförändringar). Metoden kan däremot inte uppskatta emission från enskilda fält eller ge rekommendationer för hur emissionerna kan minskas, i så fall skulle lösningen bli att minska kvävetillförseln och därmed en minskad produktionen. För att få fram en bättre metod försökte Freibauer & Kaltschmitt (2003) och Stehfest & Bouwman (2006) utveckla ekvationer med flera avgörande variabler som kvävetillförsel, kväve eller kol i marken,

jordmån, gröda och klimat m.m. Vid jämförelse med vad som uppmätts i svenska försök (Nylinder, 2010) beräknar dessa ekvationer dock en mycket hög emission.

Vi behöver utveckla bättre ekvationer/modeller, validerade med mätdata från jordbruksmark, för både Sverige och Europa, som skall kunna användas istället för den alltför enkla IPCC-metoden för att beräkna N<sub>2</sub>O-emission från jordbruksmark. För detta ändamål har vi utvecklat en växthusgasmodul i CoupModellen (Jansson & Karlberg, 2004; Norman et al., 2008; Nylinder, 2010) som kalibrerats med emissionsdata från lerjordar (Logården, Västra Götaland). Modellen har senare även kalibrerats med emissionsdata från Salix-odling på lerjordar och kraftigt förbättrats i sin parametrering (He, 2016). För att kunna kalibrera/validera modellerna krävs avancerade metoder att mäta emissionerna av lustgas i fält. Orsaken är att emission av N<sub>2</sub>O sker i ”episoder” över både tid och rum från en låg basemission. En enda episod kan i extrema fall stå för nära 80 % av den årliga emissionen, och merparten av tiden mäts emissionen till noll.

**Vårt övergripande mål med projekten var att:** i) Mäta lustgas (N<sub>2</sub>O) emissionerna från lerjordar, högupplösta i tiden och korrekt integrerad över försöksfälten, för att generera data som kan användas för att utveckla mekanistiska modeller och för att skapa emissionsfaktorer för svensk lerjord. ii) Vidareutveckla/validera växthusgasmodulen i CoupModellen för lerjordar. Med modellen kan vi undersöka långt fler scenarier än vad som studeras experimentellt. iii) Med modellens hjälp kunna genomföra systemanalys för att identifiera optimala odlingssystem som minskar emissionerna från svenska lerjordar men med bibehållen produktion – oavsett om skörden kommer att användas för mat eller bioenergiproduktion.

**Våra hypoteser var att:** i) De svenska N<sub>2</sub>O-emissionerna under växtsäsongen är lägre än de som beräknas med hjälp av IPCC metodik, då markerna generellt är väl-dikade och gödselgivan förhållandevis låg. Då gasformiga förluster sker från marken kommer de att ske i form av främst kvävgas (N<sub>2</sub>) och inte N<sub>2</sub>O (ammoniakemissioner från stallgödsel inte medtagna). ii) Emissionerna är inte på årsbasis högre än de från andra lerjordar i EU. iii) De svenska emissionerna kommer att domineras av emissioner utanför växtsäsongen (”vinteremissioner”), baserat på att det under denna tidpunkt kommer att finnas ett överskott av kväve i systemet och att låga temperaturer gynnar bildningen av N<sub>2</sub>O i förhållande till N<sub>2</sub>.

## **Lanna mikrometeorologisk installation (2007-2011) och ICOS**

SLUs försöksstation Lanna, som startades 1929, är belägen i närheten av Lidköping i Västra Götaland. Jordmånen är styv lera med en lerhalt av 44 % i matjorden och 57 % i alven samt organisk halt av ca 3,4 % och pH 6,8 i matjorden. I området sker en stor del av spannmålsproduktionen i Sverige och försöksstationen anses vara representativ för svenska lerjordar i norra Götaland. Årsmedelnederbörd (1961-1990) är 560 mm årsmedeltemperatur 6,1°C (Alexandersson & Eggertsson Karlström, 2001). Lanna är en ideal station för att bedriva mikrometeorologiska studier. Dessa stationer ska ha stora sammanhängande fält, utan några topografiska skillnader över fältet och inga omgivande höga byggnader eller träd. Våra mätningar baserades på den mikrometeorologiska gradientmetoden (Wagner Riddle et al., 1997). Metoden bygger på att man mäter koncentrationen av lustgas från två nivåer på masterna (figur 1) samtidigt som man mäter vindutbytet mellan marken och luften över odlingen.

Från 2007 till hösten 2009 var lasern placerad i en släpvagn vid försöksfältet. Gasen sögs från provtagarna på masterna via en ventil på masten, som styrde från vilken nivå mätningarna skedde, via slangar (som låg i rör på marken) från masterna till lasern via ytterligare ett ventilsystem som avgjorde vilken mast som provtogs på fältet. Under 2008 och fram till våren 2009 genomfördes mätningar på två av de nu sex ytorna (plot 1 och 3 i figur 2). När vi expanderade till sex olika fält under 2009 genomfördes en ny design för mätningarna (figur 2). Lasern flyttades till en isolerad och temperaturkontrollerad mätbod (figur 2), dit även alla ventiler placerades. Laserdioden och laserns styrsystem byttes ut, och mjukvaran uppgraderades. Systemet var nu även uppkopplat till internet varmed data kan laddas ner och systemet kan kontrolleras/programmeras direkt från Göteborgs universitet i Göteborg. När de nya ytorna

anlades grävdes samtliga ström- och signalkablar samt gasledningar ner väl under plogdjupet. Den nya designen innebär att man kunde mäta under tiden och direkt efter jordbearbetning. Den nya designen är mycket enklare att sköta, och mera robust ur vädersynpunkt än den tidigare. Vårt mikrometeorologiska system för de sex 1 ha stora parcellerna är unika internationellt och har designats för att kunna fungera året om under många år.



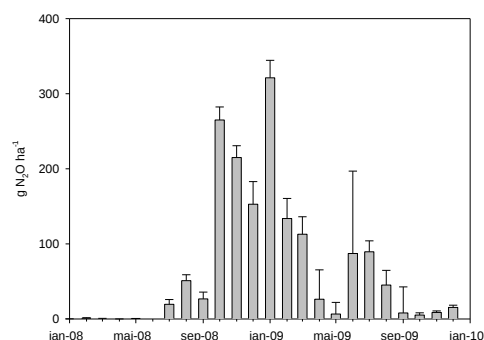
Figur 1 Utrustning på masterna under 2008-2009. Bilden visar lustgaslasern placerad i en släpkärra med nafeontorkarna monterade på högersida.



Figur 2. Lanna mikrometeorologiska design från och med hösten 2009.

## Resultat och diskussion

Emissionerna under 2008-2009 var högst under sen höst, vinter och tidig vår, inte under växtsäsongen (Figur 3). Dock var emissionerna låga under januari till mars 2008.



Figur 3. Månadsemissioner av lustgas från Lanna vid konventionell stråsädesodling (vårkorn).

Försök med olika grödor och behandling kunde därmed startas 2010. På försöksplatsen förekommer för området en vanlig växtföljd, vilken är starkt spannmålsdominerad med vårkorn, höstvet och havre. Avbrott med oljevaxter förekommer, främst odlas höstraps.

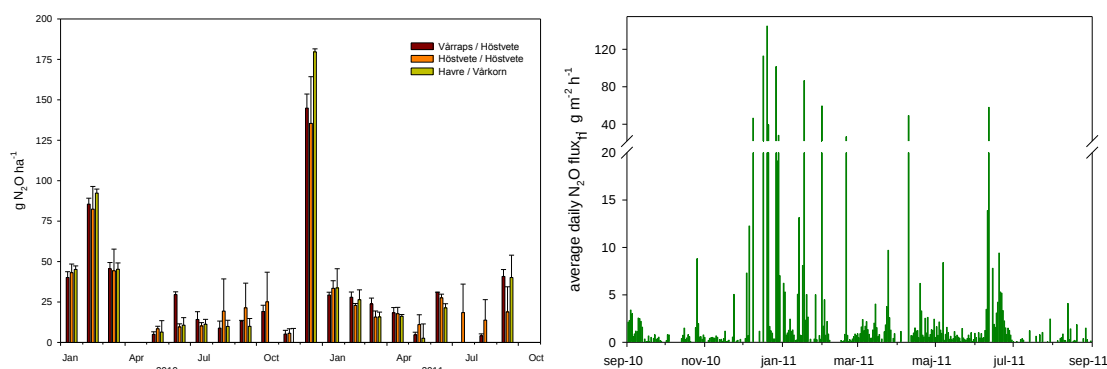
Det var en större skillnad i lustgasemissionerna mellan parcellerna i höstveteleden under hösten 2010 än mellan odlingarna, dock inte signifikant. De lägre årliga emissionerna under 2011 beror delvis på att data endast sträcker sig till och med september (tabell 2). Medelemissionerna för de tre kompletta åren 2008-2010 var 0.68 kg per hektar (SE 0.12 kg per hektar). Mätningarna under 2011 var tvungna att avslutas då lasern slutade fungera. Emissionerna var lägre under vintern 2009/2010 än för motsvarande period under 2008/2009 (figur 3 och 4a, tabell 2), men högre än januari-mars 2008. *Det fanns inte någon skillnad i emissionerna mellan de olika odlingsleden och vinteremissionerna dominerade emissionerna.*

**Tabell 2.** Årliga N<sub>2</sub>O-emission g/ha integrerade från dygnsmedelvärden. För 2008 från vårkorn, 2009 från vårkorn och från 2010-2011 medelvärde för vårraps, höstvetete, havre och vårkorn, då inga signifikanta skillnader fanns i emissionerna från de olika behandlingarna.

| År   | Hela året | Växstsäsong | Utanför växstsäsong |
|------|-----------|-------------|---------------------|
| 2008 | 742       | 81          | 661                 |
| 2009 | 855       | 228         | 627                 |
| 2010 | 405       | 49          | 334                 |
| 2011 | (170) *   | 43          | 127                 |

\*Endast jan-sep

Även emissionerna under den kalla vintern 2010/11 var lägre än under 2008/2009 (figur 3). Emissionerna från ledet parcell 1 visas som dygnsmedelemissioner för vintern 2010/11 och under 2011 i figur 4b. Figuren 4b visar med tydlighet hur svårt det är att korrekt mäta emissionerna av lustgas från ett fält. När man mäter med manuella kammare sker provtagning normalt en gång i veckan, kompletterat med mera intensiva provtagningar kring frysa/tina-perioder, gödsling etc. Det leder till att man både kan underskatta såväl som överskatta emissionerna. Detta kan man under vår, sommar och höst åtgärda genom att mäta med hjälp av automatiska kammare, något som dock blir svårt under vintern om det finns snö på marken eller om marken är tjälad. Perioder med skare innebär att lustgas kan lagras i snön under skar lagret, som sedan kan ventileras ut i en episod vid mildväder. Gas lagras även i marken under den tjälade marken och emitteras vid frysa/tina-perioder (Öqvist et al., 2007). För närvarande arbetar vi med att utveckla automatiska kammersystem som ska kunna fungera även under vintern. De skulle möjliggöra långliggande fältförsök, och de skulle även kunna användas för system med mycket låga emissioner. *Det enda korrekta sättet att mäta emissioner under vintern är att använda mikrometeorologiska metoder, förutsatt att emissionerna är höga nog att kunna detekteras med dessa metoder*

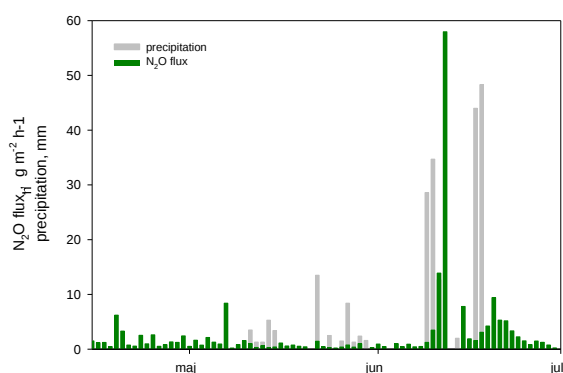


**Figur 4.** A) Månadsemissioner (2010-2011) för de tre behandlingarna med standardavvikelsen för respektive led och månad. (Aprilmätningarna 2010 redovisas inte då medelvärdena inte var jämförbara pga. mätproblem som orsakat luckor i dataserierna). B) Dygnsmedelemissioner av lustgas från ledet 1/A september till september 2010-2011.

Vi fann att emissionerna hade ett mycket ”spikigt” mönster som delvis var kopplat till frysa/tina-perioder. Eftersom lustgas bildas i marken där det är syrebrist (4b) och ofta vattenmättat, är gasdiffusionen låg. Utbyte med atmosfären sker då det också finns luftfyllda markporer. Men när sådana större markporer inte är luftfyllda, t.ex. fyllda med vatten, samlas producerade gaser i jorden för att ventileras ut senare. Detta resulterar i att emission kan ske senare än produktionen och komma plötsligt och mycket. En s.k. venturi-effekt (”skorstenseffekt”) kan förstärka ett sådant konvektivt flöde som kan skapas av tryckskillnader i marken/snön vid vind. Effekten blir kraftigast för barmark och för perioder med snö då vindhastigheten vid markytan avtar kraftigt med grödans höjd. Detta kan ställa till ”problem” vid simulering av emissionerna med hjälp av mekanistiska modeller som t.ex. CoupModellen, som bygger på att kopplad produktion och diffusion av bildad gas. Vi återkommer till detta när vi jämför modellens resultat. Detta kan förklara spikigheten i emissionerna och varför det blir en svag koppling mellan tidpunkten för

gasproduktion och emission vilket Coup-modellen visar. Enligt klimatscenerierna från SMHI kommer temperaturen att öka och sannolikheten för riktigt kalla vintrar blir lägre i framtiden. Vintrarna både 2009/2010 och 2010/2011 var också jämfört med 30-års medel för 1961-1990 mycket ovanliga, med låga temperaturer och med varaktig snö under hela vintern. Att det i vår tidsserie ingår riktigt kalla vintrar underlättar framtida analys av påverkan från väderbetingelser.

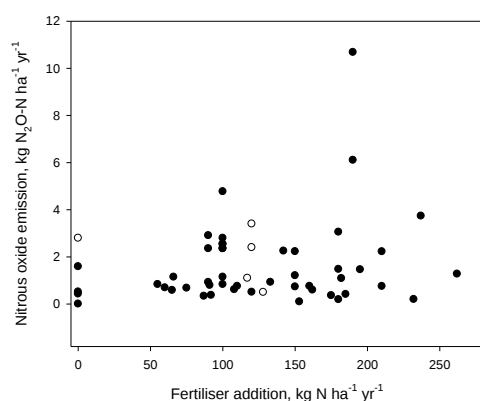
Figur 5 visar att emissionen av lustgas är som störst efter två mycket stora regnperioder under sommaren 2011. Emissionen sker cirka 2 dygn efter regnen och det är troligt att marken då torkat upp något så att markporer ”öppnas” och gasen kan diffundera ut. Man kan se att det första regnet ger upphov till en kraftigare emission än det andra regnet, trots att det senare regnet var kraftigare. Detta kan antingen bero på att tillgängliga kväver eller tillgängligt kol har minskat för denitrifierare. Tyvärr saknas data på lustgasemissionerna för 13-14 juni efter det första regnet (pga. problem med kylningen av laserdioden), dock förväntar vi oss att emissionen hade samma ”klock-form” som för den senare emissionstoppen men något skapare. En annan förklaring kan vara att det kraftiga andra regnet kan ha resulterat i att  $N_2$ , snarare än  $N_2O$ , blev slutprodukten från denitrifikationsprocessen. Vid simulering av denna regnperiod med CoupModellen visar det sig att den klarar att beskriva den första emissionsepisoden, men överskattar den andra (figur 8).



**Figur 5.** Dygnsmedelemissioner av lustgas från ledet 1/A maj till juli 2011 i relation till regn/regntillfällen. (Data på lustgasemissionerna saknas 13-14 juni, pga. problem med kylningen av laserdioden).

## Jämförelse med andra länder

IPCCs metod att beräkna lustgasemission ansätter att 1 % av tillsatt kväve avgår som en direkt  $N_2O$ -emission till atmosfären (den emission som vi mäter med mikrometeorologiska metoder). Detta skulle innebära att våra emissioner skulle ha varit i en storleksordning på 1,2-1,8 kg  $N_2O$ -N per ha, från gradientstudierna. Våra uppmätta emissioner är lägre än de som man beräknar med IPCCs metod, men inom det konfidensintervall som IPCC har ansatt på 0,3 till 3 % av tillfört N. I figur 6 visas att lustgasemissioner från stråsädes- och rapsodling i norra Europa och Kanada varierar från nära noll till mer än 10 kg  $N_2O$ -N  $ha^{-1} \text{år}^{-1}$ .



**Figur 6.** Sammanställning av årliga lustgasemissioner från stråsäd och rapsodling i norra Europa och Kanada i förhållande till tillsatt N-gödselgiva. De ofyllda ringarna redovisar svenska data, där de två med låga emissioner kommer från lerjordarna på Logården och de tre som är högre kommer från mera sandiga jordar vid Mellby. (Kasimir Klemetsson & Smith, 2011).

Det finns inte någon koppling mellan emission och tillsatt N-gödsel i varje fall inte vid N-givor under 150 kg N  $ha^{-1}$  (Kasimir Klemetsson & Smith, 2011). Dock kan man säga att användande av IPCCs metod ger uppskattning av emission någorlunda träffsäkert (så länge som man inte

övergödslar) men av fel orsak. De ofyllda ringarna i figur 6 redovisar svenska data där de två med låga emissioner kommer från lerjordarna på Logården och de tre som är högre kommer från mera sandiga jordar vid Mellby. Uppmätta emissioner på Lanna var under åren 2008-2011 något lägre än de som uppmättes på Logården med hjälp av kyvett-teknik vid odling av stråsäd på Logården (lerjord, Västra Götaland) under 2004-2007 (Nylinder et al., 2011; Nylinder, 2010).

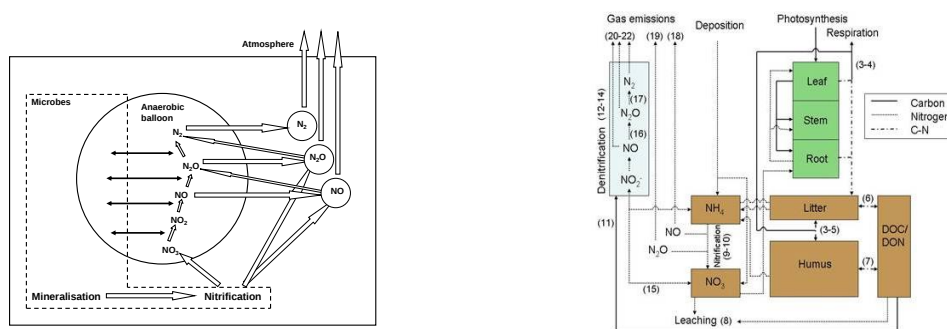
## Hur överensstämmer våra fältresultat med hypoteserna?

**Lustgasemission i Sverige kan vara något lägre än vad som uppmätts och simulerats för Europeiska betingelser.** Från tidigare modelleringar eller från statistiska analyser har man predikerat att emissioner från svenska odlingar borde vara högre än de från kontinenten, baserat på att vi borde ha höga vinteremissioner. Våra emissioner var inte högre än kontinentala emissioner för lerjordar, och de var lägre än medelberäkningarna med hjälp av IPCC.

**Lustgasemissionerna är höga under vintern.** Emissionerna var högst utanför växtsäsongen, och speciellt under den kalla delen av året. Det var kraftiga variationer i vinteremissionerna, vilka var som lägst under mycket kalla vintrar. Dessa två kalla vintra var dock ovanliga, sett över ett 30-års medel. Enligt de nuvarande svenska klimatscenarierna kommer vintrarna att bli både varmare och med mer nederbörd (SMHI). – Hur kommer lustgasemissionerna att påverkas och finns det bruksåtgärder som kan användas för att begränsa dessa? För att få data på emissionernas storlek är det därmed viktigt att också fortsättningsvis mäta vinteremissioner korrekt under flera vintrar. Och för att nå förståelse för att generera begränsningsåtgärder krävs också bra simuleringar.

## Simuleringar med Coupmodellen

Ett av våra mål med projekten som rapporteras var att förbättra CoupModellens kapacitet att modellera lustgas-emissioner. Detta har skett genom att vi skapade en modul i modellen (figur 7a) så att lustgasen kan dynamiskt simuleras som en produkt från nitrifikation/denitrifikation (Norman et al., 2008).



**Figur 7.** A) Schematiskt bild över lustgasmodulen. Lustgas bildas i anaeroba mikronischer från denitrifikation och från aeroba nischer från nitrifikation, och gaserna lämnar marken via markporsystemet (Norman et al., 2008). B) CoupModellen med växthusgas-modulen länkad till C/N flödet mellan mark/växt och förlust från systemet i form av gasavgång samt utlakning (Nylinder 2010)

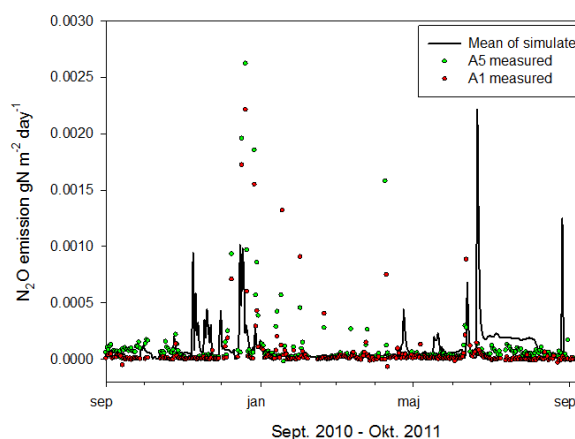
Modulen utvecklades med hjälp av en lång tidsserie av emissionsdata från en tysk skogsmark. Det centrala med lustgasmodulen är att kunna beskriva hur de anaeroba mikronischerna bildas och försvinner i tid och rum. Vidare hur transporten av ämnen mellan dessa och den aeroba omgivningen sker. Dessa styrs av markfysikaliska egenskaper, abiotiska variabler som främst styrs av väderbetingelser, samt interaktion med växter. Lustgasmodulen är integrerad i CoupModellen och visas schematiskt i figuren 7b.

Modellen har testats på skogsmark (Norman et al., 2008). Denna ”skogsmoell” har sedan vidareutvecklats med hjälp av svenska data från lerjordar under ekologisk respektive

konventionell odling på Logården i Västra Götaland (Nylinder 2010). Modellen genererar årliga emissioner som stämmer väl överens med mätta data (från manuella kammare) från såväl ogödslade kontroller som intensivgödslade parceller. I sin avhandling har Nylinder (2010) applicerat och utvecklat modellen för svenska åkermarkssystem, både för lerjordar och för dikade organogena jordar. I den förstnämnda simulerades med bra resultat såväl N-utlakning som gasemissioner och i den sistnämnda visades att modellen väl kunde beskriva hur markens pH avgör emissionens storlek.

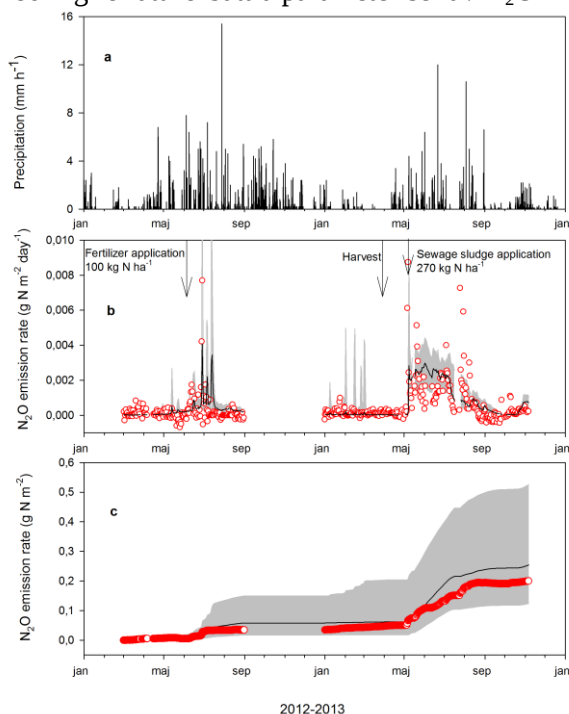
Då det inte fanns några signifikanta skillnader mellan leden (tabell 1) valde vi att simulera emissionerna från led A med endast spannmålsgrödor i växtföljden eftersom det är den enklaste växtföljden och vi därför kan fokusera på växthusgasmodulen. Parameterisering av markfysikaliska variabler baseras på tidigare simuleringar gjorda med SOIL/SOILN (föregångaren till CoupModellen), medan parametreringarna av variablerna i växthusgasmodulen kom från Logården (Nylinder, 2010). Som drivvariabler användes klimatdata från mätperioden på Lanna. Baserat på kalibreringarna från Logården (Nylinder et al., 2011) simulerades emissionerna för 2008-2010 till att vara 0.31 kg/ha, vilket är en underskattning jämfört med uppmätta emissioner för 2008-2010 (0.68 kg/ha (SE 0.12 kg/ha)). Det visade sig att modellen framförallt underskattade vinteremissionerna men även sommaremissionerna för 2009 underskattades. Det farmgick klart att modellens förmåga att simulera vinterperioden måste förbättras. Kalibrering av modellen är också helt avhängig av kvalitén på använda data och de data som här användes kom från kammarmätningar med låg intensitet i mätningarna. Vi testade även att använda de parametervärden som används när CoupModellen simulerar emissioner från skogsmark, eftersom det tyska datasetet har högupplösta data med "vinteremissioner från skogsmark" uppmätta med automatkammare (kalla betingelser, men ingen eller lite snö). Resultatet blev högre vinteremissioner, dock fortfarande för låga och fel i "tiden" samtidigt som sommar-emissionerna överskattades.

Kalibrerad på Lanna-data underskattar modellen fortfarande de årliga emissionerna, med ett medelvärde för 2008-2010 på 0.43 kg/ha, men fick rätt dynamik mellan åren, höga emissioner 2008 och 2009 och låga 2010, vilket vi fann från våra mätningar (tabell 1). Dock underskattades vinteremissionerna i simuleringen av Lannas lerjord jämfört med vad som uppmätts. Man kan fundera på varför simulerad vinteremission underskattas från Lanna. Om emission hindras av någon orsak, se diskussion ovan, kommer det att bli en diskrepans mellan mätdata och simulering. Modellen beskriver gasproduktion och emission via diffusion vilket verkar fungera bättre för skogsjordar som har en bättre dränering än lerjordar. Sannolikheten för att producerad gas blir "fångad" i en lerjord är större än för en skogsjord under tjälade betingelser. Till detta kommer problemen med gastransporten genom snön. De två senaste vintrarnas ovanligt kraftiga kyla under en lång period då marken var täckt med snö och skarsnö-lager gör att emission kan hindras. Detta stöds av att vi fann emissioner under vintern som var kopplade till frysa/tina-perioder, men vi kan inte säkert uttala oss om det var frigörelse av gas från marken/snöen eller om gasen verkligen producerades vid tina-perioden. Att man har en färförskjutning mellan simulerad emission och emitterad emissions resulterar i att det blir svårare att kalibrera modellen under vintern. Det är inte bra att modellen underskattar vinteremissionerna Vi kommer därför att behöva fortsätta med förfining av modellen och genomföra kalibreringar ett antal år framåt. Detta arbete kommer att kräva detaljerade mätningar av hur gasen bildas, lagras, transporteras i marken, transporteras genom snön och kommer även att kräva en helt ny beskrivning av gastransport i själva CoupModellen. Det är generellt mycket svårt att erhålla synkronisering av simulerade emissioner till uppmätta emissioner med mekanistiska modeller även under växtsäsongen. Emissionen under växtsäsongen var låg, endast 43 g N<sub>2</sub>O/ha, (en försumbar liten andel av den totala kväveomsättningen i marken,) vilket försvårade kalibreringen av emissionerna. Den verkliga vår-emissionen kom i april och inte som modellen predikterade i slutet av april-början av maj. Dock beskrev modellen mycket väl den första emissionen, vid extremregnet, men inte den andra episoden som den kraftigt över estimerar.



**Figur 8.** Simulerade emissioner under september 2009 till oktober 2011.

Vidareutvecklingen av CoupModellen har skett under ledning av Dr. Å. Kasimir (GVC, GU) i nära samarbete med Prof. Per-Erik Jansson, KTH. He (2016) har använt data från en salixodling för att förbättra parameteriser av  $N_2O$  modulen i CoupModellen (figur 9).



**Figur 9.** Nederbörd (a), simulerad. Svart linje med ett grått fält som visar minimum- och maximumvärden som är accepterade av modellen och de röda cirklarna uppmätta dagliga värden av  $N_2O$  emission (b), ackumulerade värden (He, H. 2016)

Som framgår av figuren är det åter svårt att parameterisera emissionerna korrekt för låga emissioner. Mineralgödselledet som fick en kvävegiva på ca  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$  hade en låg emission (mät med mikrometeorologiska EC metodiken) på  $0.55 \text{ kg N}_2\text{O ha}^{-1}\text{år}^{-1}$ , dvs i samma storleksordning som Lanna. Emissionerna efter spridning av reningsverksslam var mycket högre,  $2.8 \text{ kg N}_2\text{O ha}^{-1}\text{år}^{-1}$  och dynamiken kring dessa emissioner kunde bättre beskrivas med parametreringen av modellen. Det är samma parametrering för bägge åren figur 9. Arbete med att utveckla modellen sker av gruppen kring Å. Kasimir dels inom ett Formasprojekt fokuserat på att minska växthusgasemissionerna från dikade organogena marker och dels inom det strategiska forskningsprogrammet BECC (Biodiversity and Ecosystems services in a Changing Climate). Vi kommer under de närmsta åren att fördjupa vårt samarbete med andra modellera-grupper inom EU, inte minst flera tyska grupper som arbetar med "LandscapeDNDC" och forskare från Yara planerar att använda data från Lanna i deras modelleringsarbete.

## Publikationer från projektet

- Stenberg, M. 2010. Emissioner av kväve i gasform från lerjord beroende av tidpunkt för Jordbearbetning. I: Lundström, C. (Ed.). Precisionsodling 2009 - Precisionsodling och pedometri. SLU, Skara. Precisionsodling 2010:1. s. 18-19. [http://pub-epsilon.slu.se:8080/1914/01/lundstrom\\_et\\_al\\_100715.pdf](http://pub-epsilon.slu.se:8080/1914/01/lundstrom_et_al_100715.pdf).
- Norman, J., Jansson, P.E., Farahbakhshazad, N., Butterbach-Bahl, K., Li, C., Klemetsson, L. 2008. Simulation of NO and N<sub>2</sub>O emissions from a spruce forest during a freeze/thaw event using an N-flux submodel from the PnET-D-DNDC model integrated to CoupModel. Ecological Modelling 216:18-30.
- Nylinder, J. 2010. Process-based Modelling of N Losses from Terrestrial Ecosystems. Doktorsavhandling vid Inst. för växt- och miljövetenskaper vid Göteborgs universitet.
- Nylinder, J., Stenberg, M., Jansson, P.E., Kasimir Klemetsson, Å., Weslien, P., Klemetsson, L. 2011. Uncertainty of simulated nitrate leaching and nitrous oxide emission based on a field experiment with organic crop rotation. Agriculture, Ecosystems and Environment 141:167-183.
- Stenberg, M., Kasimir Klemetsson, Å., Nylinder, J., Weslien, P., Myrbeck, Å., Wetterlind, J., Rütting, T., Klemetsson, L. 2012. Nitrous oxide emissions from a clay soil after mouldboard ploughing or tine cultivation. In: Abstract book. 17th Nitrogen Workshop, Wexford, Ireland. p. 186-187.
- Stenberg, M., Kasimir Klemetsson, Å., Nylinder, J., Weslien, P., Myrbeck, Å., Wetterlind, J., Rütting, T., Klemetsson, L. 2012. Nitrous oxide emissions from a clay soil under tine cultivation or mouldboard ploughing early or late in autumn. ISTRO 2012. Montevideo, Uruguay.
- Stenberg, M., Kasimir Klemetsson, Å., Rütting, T., Weslien, P., Myrbeck, Å., Wetterlind, J., Nylinder, J., Klemetsson, L. 2011. Nitrous oxide emissions from a clay soil depending on timing of autumn mouldboard ploughing. The 24th NJF Congress, 14-16 June 2011, Uppsala, Sweden.
- Stenberg, M., Nylinder, J., Weslien, P., Klemetsson, L. 2012. Emissioner av kväve i gasform från lerjord är beroende av tidpunkt för primärbearbetning. SLF projekt H0833524. Slutrapport.
- Stenberg, M., Rütting, T., Weslien, P., Myrbeck, Å., Wetterlind, J., Nylinder, J., Kasimir Klemetsson, Å., Klemetsson, L. 2010. Nitrous oxide emissions from a clay soil depend on timing of autumn mouldboard ploughing. 19th World Congress of Soil Science. Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia 1–6 August 2010. Congress Symposium 4. pp. 176-178. Published on DVD.

## Resultatförmedling

Våra resultat har förmedlats till olika avnämare: Internationellt har vi deltagit i IPCCs "Editorial Board" för emissionsfaktorer genom Prof. L. Klemetsson t.o.m. 2010, och från 2011 till 2014 har Dr. Å. Kasimir Klemetsson valts som representant för i-länderna i "Editorial Board (LULUCF Sector) of the Emission Factor Database (EFDB) by the Task Force on National Greenhouse Gases Inventories (TFI) under the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Hon är vidare Sveriges representant i Global Research Alliance vad det gäller växthusgasemissioner från jordbruksmark (för jordbruksdepartementet via Formas). Global Research Alliance har skapats på initiativ av Nya Zeeland under FN:s klimatmöte i Köpenhamn 2009, som en kraftsamling för att stärka forskningen rörande växthusgasemissioner från jordbruket. Forskningsalliansen ska uppmuntra och samordna ländernas forskning, så att matproduktionen kan ökas utan att jordbrukets emission av växthusgaser gör det. Hon har även varit aktiv som expert och levererar underlag åt Näringsdepartementet kopplat till emission av växthusgaser vid bioenergiproduktion. Utöver detta har hon fungerat som expert inför Jordbruksverkets nya handlingsprogram och varit föreläsare vid kurser ordnade av Jordbruksverket och jordbruksnäringens organisationer. Ett flertal fältvandringar har genomförts

under 2009-2011 i fältförsöken. Hela Institutionen för Mark & miljö, SLU, besökte försöken i juni 2010. Göteborgs universitet genomför regelbundet fältstudier med studenter. Resultat från mätningarna hösten 2009 och våren 2010 presenterades på 19th World Congress of Soil Science, Brisbane, Australien (Stenberg et al., 2010) samt vid Nordiska Jordbruksforskarens Förenings kongress i Uppsala juni 2011.

## ICOS

Från våra mikrometeorologiska mätningar framgår det klart att man behöver långa tidsserier för att uttala sig om årsemissioner. Att skapa långa tidsserier kräver en avancerad monitoring, baserad på utrustning/metoder som är i forskningsfronten och ett såväl nationellt som internationellt samarbete kring databearbetning/datalagring. För att detta skulle kunna ske har vi varit med om att starta ICOS (Integrated Carbon Observing System; [www.icos-ri.eu](http://www.icos-ri.eu)), som är ett stort nätverk av atmosfärs- och ekosystemstationer inom EU. ICOS blev i november formellt en ERIC (European Research Infrastructure Consortium). ICOS-stationen på Lanna är utrustad med den bästa utrustningen som finns tillgänglig för mikrometeorologiska mätningar av växthusgaser och det är samma utrustning på samtliga de europeiska ICOS-stationerna. Lanna-stationen är unik inom ICOS då denna station: i) förutom långtids-mätstationen (märkt med ICOS i figuren 1) som mäter det stora fältet med hjälp av Eddy covariance metodik, även har ii) gradientytorna som kan användas till andra behandlingsstudier som inte ingår i ICOS, och iii) mäter även utlakningen från lokalen vilket inte sker vad vi vet från någon av de andra ICOS lokalerna. Att Lanna har blivit en ICOS-station är en direkt följd av projekten från SLF och Energimyndigheten. ICOS har under uppbyggnadsfasen investerat mer än 10 miljoner kr i utrustning och arbetstid för att skapa stationen. Den beräknade driftskostnaden kommer att vara drygt 2 miljoner och har fått stöd från VR och Göteborgs universitet till 2020.

## Referenser

**Alexandersson, et al., 2001.** Meteorologi no. 99. SMHI, Norrköping. 71 pp. (Temperature and precipitation in Sweden during 1961-1990. Reference normals – 2nd edition) (in Swedish). **Aubinet M, et al 2000.** *Adv.Ecol.Res.* 30: 113-75. **Butterbach-Bahl K, et al., 2013.** *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological science*, **368**, 1-13. **Crutzen, P.J., et al., 2008.** *Atmos. Chem. Phys.*, **8**, 389-395. **EC directive 98/70/EG.** <http://eur-lex.europa.eu>, last access date 4 July 2011, 2009. **Freibauer A. & M. Kaltschmitt 2003.** *Biogeochemistry* **63**: 93-115. **He, H. 2016.** Doktorsavhandling vid Inst. för Geovetenskaper vid Göteborgs Universitet. **Jansson, P.E., Karlberg, L. 2004.** Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems. Royal Institute of Technology, Dept. of Land and Water Resources Engineering Stockholm, Sweden. Publication 427. **Kasimir Klemedtsson, Å. 2009.** Energimyndigheten Eskilstuna: tillgängligt [www.energimyndigheten.se/webshop](http://www.energimyndigheten.se/webshop) **Kasimir Klemedtsson, Å. & K. A. Smith, K.A. 2011.** *Biogeosciences Discuss.*, **8**, 6743–6774, **Korsaeth, A., et al., 2001.** *Soil Biol. Biochem.*, **33**, 215-226, 2001. **Myhre G, et al., 2013.** Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM) pp. 659-740. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. **Norman, J., et al., 2008.** *Ecological Modelling* **216**:18-30. **Nylinder, J. 2010.** Doktorsavhandling vid Inst. för Växt och Miljövetenskaper vid Göteborgs Universitet. **Nylinder, J., et al., 2011.** *Agriculture, Ecosystems and Environment* **141**:167-183. **Stehfest E., Bouwman, L. 2006.** *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **74**:207-228. Data can be collected: <http://www.mnp.nl/en/publications/2006>. **Wagner-Riddle C., K. et al., 1997.** *Can. J. Soil Sci.* **77**:135-144. **Wang, J., and Bakken, L.R. 1997.** *Soil Biol. Biochem.*, **29**, 153-162, 1997. **Öquist, M., et al., 2007.** *Soil Biol Biochem* **39**:1809–1811.