

# LUSTGAS I DRÄNERINGSVATTEN FRÅN ÅKERMARK, resultat del 2. SLF-projekt H 1133232

Marie Magnheden, Marie Mattsson, Siegfried Fleischer, Maria Berglund, Erik Ekre & Helena Aronsson  
2014. Högskolan i Halmstad, Hushållningssällskapet Halland och SLU

Lustgas ( $N_2O$ ) bildas huvudsakligen genom två biologiska processer. Den ena är nitrifikation som omvandlar ammonium ( $NH_4^+$ ) till nitrat ( $NO_3^-$ ) och den andra är denitrifikation som huvudsakligen omvandlar nitrat till kvävgas samtidigt som koldioxid avges. Båda processerna kan under vissa omständigheter avge lustgas. För att nitrifikationen ska bilda lustgas krävs att syretillgången är låg och för att denitrifikationen delvis ska avstanna vid lustgas krävs att det inte är helt syrefritt i marken. Större delen av den lustgas som frigörs härstammar från denitrifikationen som är en mycket vanlig process i marken och en viktig del av nedbrytningen av organiskt material. Vid denitrifikation frigörs framför allt koldioxid.

Det är många faktorer som påverkar lustgasavgången. Viktigast är tillgången på växttillgängligt kväve i marken (Rodhe et al 2006, Petersen, 2014). Tillgången på syre och organiskt material inverkar också på lustgasbildningen. Markpackning, vilken försämrar syretillförseln från atmosfären och avrinningen, kan indirekt ge upphov till lustgas. Vilken gröda som odlas och om marken är bevuxen under stor del av året har också visat sig ha betydelse för lustgasavgången (Kasimir-Klementsson, 2009).

Atmosfärens koncentration av lustgas har ökat de senaste hundra åren, till stor del på grund av förändringar i jordbruket världen över (IPCC, 2007). Idag är lustgas den största källan till det svenska jordbrukets växthusgasutsläpp och står för mer än hälften av den växthusgaspåverkan som uppstår i den svenska jordbrukssektorn (Naturvårdsverket, 2013).

Syftet med projektet var dels att öka förståelsen kring mekanismerna (biologiska och fysikaliska) bakom lustgasavgång från mark och dels att undersöka om skillnader mellan odlingssystem och effekter av odlingsåtgärder kan påverka lustgasavgången. Målet var alltså inte att ta fram absoluta värden på lustgasavgången per hektar och år, utan att identifiera kritiska faktorer och åtgärder för att minska lustgasavgången.

Projektet (H1133232) är en fortsättning på det ettåriga projektet (H0933255) med samma namn.

## Material och metod

Provtagningarna gjordes i Hushållningssällskapet Hallands fältförsök på Lilla Böslid där varje ruta har ett separat dräneringssystem med kontinuerlig mängdregistrering av avrinnande vatten. Provtagningarna för lustgasmätningarna gjordes manuellt ur dräneringsrören från fyra försöksled (B, C, G och I) i fältförsöket (Tabell 1). Varje led består av fyra parallella rutor randomiserade i försöket. Led B, C, och I plöjdes sent på hösten (november), medan led G var bevuxen.

**Tabell 1: Lilla Böslid-försöket med de försöksled, grödor och gödsling som användes. (stg.= stallgödsel).**

Led	Gröda, 2012-	Gödslingstidpunkt, teknik	Mineralgödsel (kg/ha)	
			P	N
B	Vårsäd	Mineralgödsel före sådd	20	90
C	Vårsäd	Stg, flytgödsel svin: Före sådd, nerharvad Mineralgödsel: vår	20	90 - 0,9*stg-NH4-N
G	Vårsäd+ insådd	Stg, flytgödsel nöt: Före sådd, nerharvad Mineralgödsel: vår	20	90 - 0,9*stg-NH4-N
I	Vall II	Stg, flytgödsel nöt: Efter 1:a skörd, ytmyllad Mineralgödsel: vår + efter respektive vallskörd	20	80+45+50+stg-N

Den nedersta delen av dräneringsröret utgörs av en krök som vänds uppåt inför provtagning, och prov togs från vattnet som ansamlats där. Vid mycket låg avrinning ( $<0,1$  l/m<sup>2</sup> enligt erfarenhet från föregående projekt) togs inga prov eftersom tillförlitligheten på provtagningen då minskar genom att lustgasutbyte kan ske med omgivande atmosfär. Vid provtagningen samlades 6 ml dräneringsvatten upp i glasrör (12 ml exetainers) som sedan förseglades direkt. Rören frystes direkt efter provtagning i väntan på analys med s.k. headspaceteknik. De frysta proven tinades och tempererades i vattenbad till en konstant temperatur. Gasfasen analyserades vid Högskolan i Halmstad med gaskromatograf i kapillärkolonn och EC-detector (electron capture). Den totala mängden lustgas beräknades med en modifikation av Henrys lag.

Mätningarna genomfördes från september 2012 till och med februari 2013. Provtagningsintervallet sattes till en gång i veckan, men med intensivare provtagning under perioder med hög avrinning. Avrinningsdata och nitratutlakningsdata erhöles från SLU (Aronsson, pers medd). Statistisk behandling utgjordes av korrelationsberäkningar och ANOVA-test.

På grund av förändringar i fältförsökets upplägg på Lilla Böslid avslutades lustgasmätningarna efter avrinnings säsongen 2012/2013, och istället påbörjades provtagningar på Mellby redan våren 2013 vilket var tidigare än planerat. Förändringarna förankrades med SLF (Kjell Ivarsson).

Våren 2013 var ovanligt torr och tjälen gick ur marken utan att det blev någon avrinning på Lilla Böslid och Mellby. Därmed kunde inga mätningar i dräneringsvatten utföras under våren 2013.

På Mellby genomfördes provtagningar i dräneringsvattnet från september 2013 till april 2014. Prov togs från led A (ref utan fånggröda, utan gödsling), E (med stallgödsel, utan fånggröda) och F (med stallgödsel, med fånggröda). Behandling E och F har 3 rutor (40x40 m) vardera medan behandling A endast har en ruta (40x40 m).

Lustgasavgången från markytan har översiktligt mätts med *closed chambers*. En stålring som sluter tätt vid marken avgränsar ett markavsnitt. När ett lock läggs på vid försöksstart (tiden 0) innesluts en luftvolym. Prov togs från den inneslutna luften var femte minut under de första 15 minuterna och sedan mer sällan (totalt upp till 90 minuter). Lustgaskoncentrationen mäts därefter på laboratoriet med gaskromatografi. Lustgasemissionen beräknas sedan utifrån hur lustgaskoncentration i den

inneslutna luften ökat under provtagningstillfället, där hastigheten fås från kurvans lutning (derivatan vid tiden  $o$ ). I redovisning togs endast resultat från de provtagningstillfällena som visade en tydlig uppgång av lustgaskoncentrationen.

Emissionsmätningar med *closed chambers* utfördes både på Lilla Böslid och Mellby under våren 2013. Mätningarna gjordes med *chambers* som installerades vid varje tillfälle eftersom fast installerade *chambers* inte var möjliga på odlingsåtgärder som genomfördes. Utrustningen för parallell provtagning i fyra *chambers* utprovades och gasprov analyserades vid ett tillfälle från två försöksled samtidigt (B och G) på Lilla Böslid. Dessa hade tidigare gödslats olika (B med endast mineralgödsel och G med både stallgödsel och mineralgödsel i motsvarande mängd) och G hade dessutom en insådd fånggröda. Från och med våren 2013 hade dessa olikheter upphört och alla försöksled fick en enhetlig behandling.

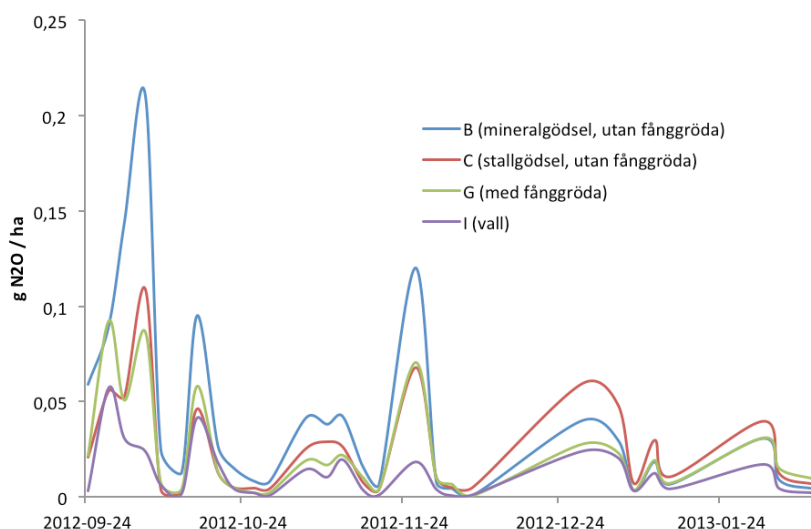
Förutom provtagning i dräneringsvatten och emissionsmätningar med *closed chambers* togs också gasprover direkt ur markatmosfären. Vid denna provtagning förs ett stålrör med en öppning i sidan för provinflöde ner i marken (10 cm) och markatmosfären suggs upp för analys med gaskromatografi.

För att kontrollera att lustgasen i dräneringsvattnet inte bildas i proven på väg till analysen genomfördes ett test där två olika mängder nitrat (20 och 100  $\mu\text{l}$  0,01 M  $\text{KNO}_3$ ) tillsattes direkt efter provtagningen.

## Resultat och diskussion

### Lustgas i dräneringsvatten

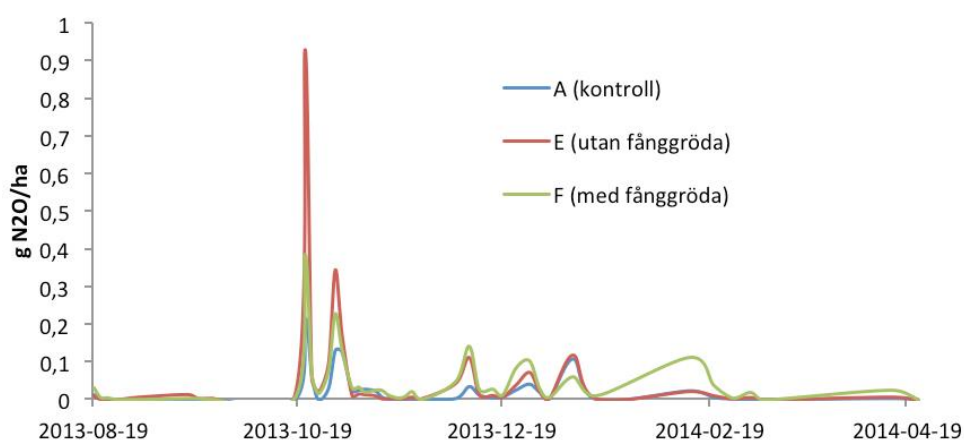
Analyserna av vattenproverna tagna från dräneringsvattnet på Lilla Böslid säsongen 2012/13 visade avsevärt lägre lustgasavgång än mätningar 2010/11 (Magnheden et al. 2012). Låg avrinning 2012/13 medförde dock att det är relativt få vattenprov som ingått i mätningarna. Trots låg avrinning är sågs samma mönster som vid tidigare mätningar. Led B och C uppvisade högre lustgasavgång än led G och I. Liksom tidigare kännetecknades lustgasavgången av korta, höga toppar och däremellan av perioder med mycket låg lustgasavgång (figur 2).



**Figur 2:** Lustgasavgång i g/ha från september 2012 till februari 2013 för fyra behandlingar i dräneringsförsök på Lilla Böslid. Dygnsmedelvärden från fyra rutor med samma behandling.

Även på Mellby visade mätningarna i dräneringsvattnet att lustgasavgången tycks ske i korta, höga toppar och däremellan perioder med mycket låg lustgasavgång (Figur 4). Vi såg även skillnader mellan behandlingar som gödslad och förekomst av fånggröda (Figur 4), d v s ett likartat mönster som på Lilla Böslid. Gödslade rutor (E och F) visade betydligt högre lustgasavgång än den ogödslade kontrollen. Total lustgasavgång för avrinningsperioden var högre för E (utan fånggröda, 11,8 g/ha) än för F (med fånggröda, 7,0 g/ha) men effekten var tydligast under hösten och avtog senare under säsongen (Figur 3). Den ogödslade kontrollen hade en total lustgasavgång på endast 2,9 g N<sub>2</sub>O/ha.

Total kvävetransport uppvisade också en tydlig skillnad mellan E (37,6 kg N/ha) och F (26,0 kg N/ha) och en mycket låg kvävetransport för kontrollen A (6,3 kg N/ha). En analys av avrinningsdata för hela året visade att avrinningen under mätperioden (aug-april) fångade den största delen av årets avrinning. Både den högsta lustgasavgången och totalkvävetransporten per dygn uppmättes generellt vid hög avrinning.



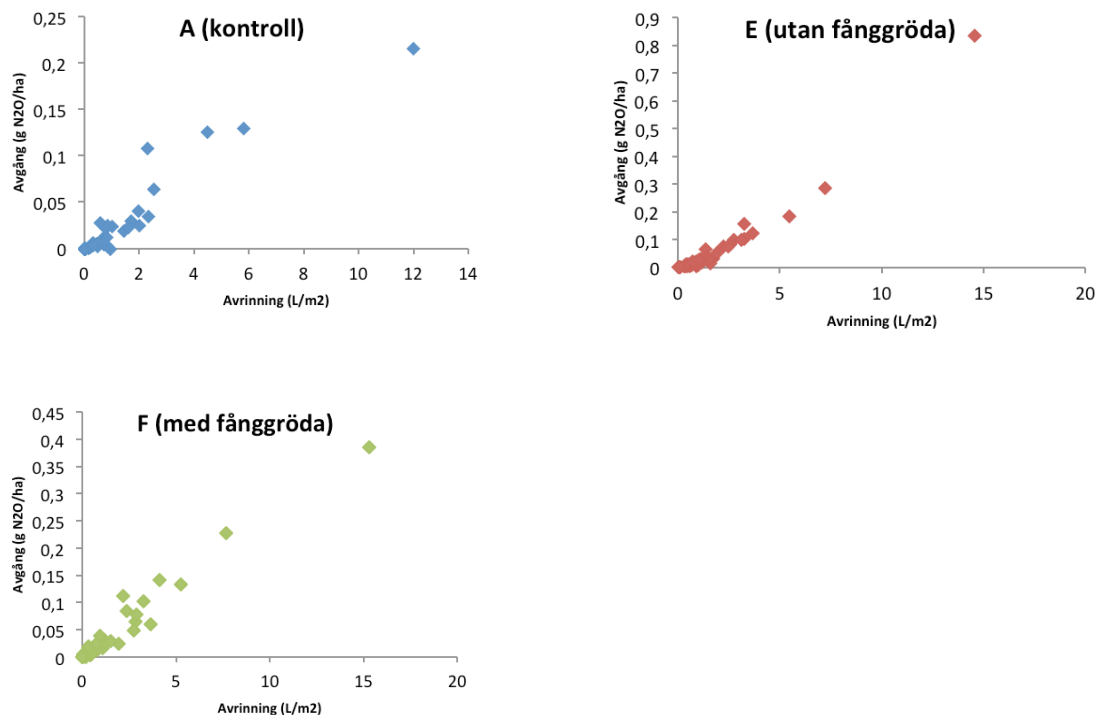
**Figur 3. Lustgasavgång i g/ha från september till april för tre behandlingar i dräneringsförsök på Mellby. För E och F redovisas dygnsmedelvärden från tre rutor med samma behandling.**

På Mellby upptäcktes ett fel på vipkärlet för ruta E1 vilket ledde till att avrinningen för ruta E1 fick beräknas som ett medelvärde för rutorna E8 och E9. Totala avrinningen för säsongen (aug-13 till april-14) var i allmänhet mellan 250-300 liter/m<sup>2</sup> men även efter korrigeringen för ruta E1 framstår ruta A7 med en total avrinning på endast 140 liter/m<sup>2</sup> som en svårförklarad avvikelse.

Liksom i tidigare mätningar hösten 2010 erhöles ett tydligt samband mellan avrinning och lustgasavgång både säsongen 2012-13 på Lilla Böslid (ej redovisat) och på Mellby (Figur 4). Lustgasavgången uppvisade också ett likartat samband med totalkväveutlakningen (Tabell 2). R<sup>2</sup> värdena är höga för samtliga rutor av de tre behandlingarna.

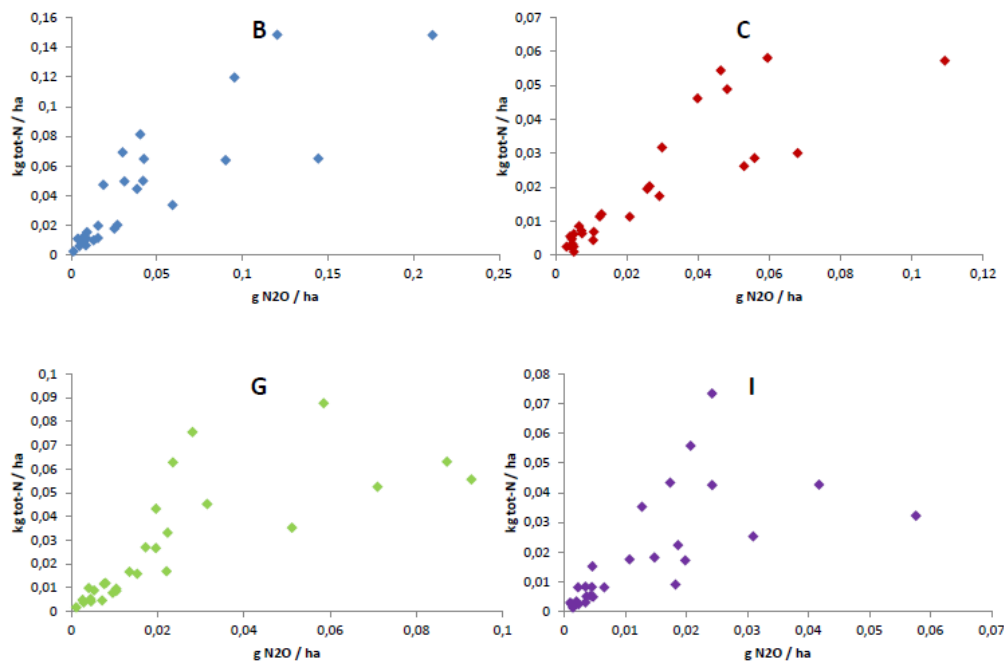
**Tabell 2. R<sup>2</sup> värden för samband mellan kvävetransport och lustgasavgång för avrinningsperioden 2013-2014 på Mellby försöksfält. A=ogödslad kontroll, E = gödslad utan fånggröda och F=gödslad med fånggröda.**

Ruta	R <sup>2</sup>
A (kontroll)	0,92
E1	0,90
E8	0,92
E9	0,87
F3	0,88
F4	0,87
F6	0,90



**Figur 4. Samband mellan avrinning i l/m<sup>2</sup> och lustgasavgång i g N<sub>2</sub>O/ha som dygnsmedelvärden för avrinningsperioden 2013-2014 på Mellby försöksfält. A=ogödslad kontroll, E =gödslad utan fånggröda och F=gödslad med fånggröda**

Jämförelse mellan lustgasavgång och totalkvävetransport på Lilla Böslid säsongen 2012-2013 (Figur 5) visade ett samband med hög signifikans, men vissa mätpunkter avviker vilken indikerar att andra även andra faktorer har betydelse i sammanhanget.



**Figur 5. Samband mellan kvävetransport i kg tot-N/ha och lustgasavgång i g N<sub>2</sub>O/ha som dygnsmedelvärden för avrinningsperioden 2012-2013 på Lilla Böslids försöksfält. B=gödslad, C = gödslad utan fånggröda, G=fånggröda och I=gödslad vall.**

## Mätningar med *closed chambers*

Mätningarna med *closed chambers* genomfördes med tillfälligt installerade *chamber*. På lerjorden i Lilla Böslid innebar detta problem med tätningen, inte minst efter plöjning. Djupa fåror/ojämheter i marken inom en *closed chamber* medförde dessutom problem att garantera en säker volym innesluten atmosfär, som är nödvändig för korrekt beräkning av emissionen. Utjämnning av markytan för att uppnå känd volym gjordes inte eftersom detta skulle ha inneburit ett direkt ingrepp i det studerade systemet och påverkat resultatet. *Closed chambers* installerades inte på samma ställe i försöksrutorna varje gång, vilket kan ses som en fördel genom att undvika upprepad påverkan på markprocesserna inom samma område. Svårigheterna har i sin helhet medfört att endast resultat från tillfällena då mätningarna bedömts säkra har tagits med.

I tabell 3 redovisas avgång som bedömts säkert kvantifierad. Mätningarna från Lilla Böslid i maj 2013 uppvisade ungefär samma lustgasavgång från led B (utan fånggröda) som från led G (med fånggröda). Eftersom dessa data ligger efter avrinningssäsongen kan vi inte jämföra denna lustgasavgång med avgången med dräneringsvattnet. Dock indikerar dessa mätningar att den mängd lustgas som avgår med dräneringsvattnet är en liten del av det totala.

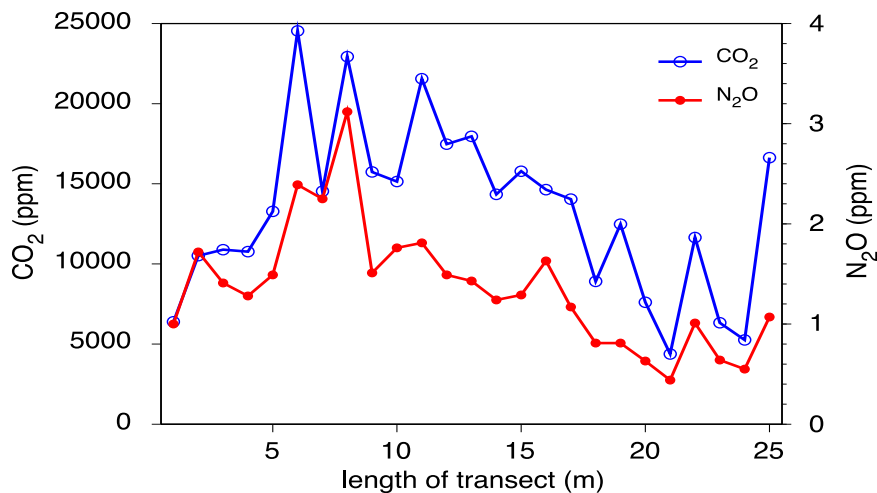
Mätningar med *closed chambers* genomfördes också på de sandiga jordarna i Mellby från oktober 2012 till mars 2014 och de mätningar som redovisas (Tabell 2) uppvisade endast ca en tiondel av den avgång som uppmättes på Lilla Böslid. Emissionen av lustgas var många gånger mycket låg (mätvärden nära koncentrationen i atmosfären). Inget entydigt kan sägas om fånggrödans betydelse utifrån mätningarna på Mellby. Liksom på Lilla Böslid utgör lustgasavgången med dräneringsvattnet en liten del av den totala lustgasavgången (Tabell 3, Figur 4).

**Tabell 3. Emissionsmätningar med *closed chambers* som visar lustgasavgången från marken direkt till atmosfären för olika led på Mellby och Lilla Böslid.**

Led		Datum	g N <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> dygn <sup>-1</sup>
Mellby E	Mojord/utan fånggröda	121008	17,8
Mellby E	Mojord/utan fånggröda	130507	13,9
Mellby E	Mojord/utan fånggröda	130905	9,2
Mellby E	Mojord/utan fånggröda	131025	12,7
Mellby F	Mojord/med fånggröda	131025	6,7
Mellby F	Mojord/med fånggröda	140306	11,0
Lilla Böslid G	Mellanlera/med fånggröda	130515	133
Lilla Böslid B	Mellanlera/utan fånggröda	130516	125

## Mätningar av markatmosfären

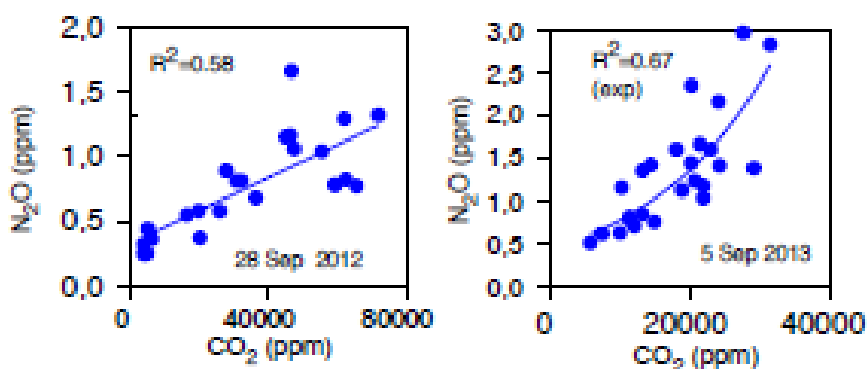
Som ett komplement till det fåtal *closed chamber*-mätningar som kunde genomföras mättes också koncentrationen av N<sub>2</sub>O och CO<sub>2</sub> direkt i markatmosfären. Dessa mätningar genomfördes ofta längs en linje i fältet (transect) för att illustrera lokala variationer i fältet. Dessa variationer kan vara betydande och lustgaskoncentrationen kan ändras från 1 till 3 ppm på bara några få meter (figur 6). Ett tydligt samband kunde ses mellan koldioxid- och lustgaskoncentrationerna i markatmosfären.



**Figur 6. Lustgas och koldioxid i markatmosfären på 10 cm djup längs en 25 m lång linje.**

Ett sätt att illustrera detta är genom att plotta lustgaskoncentration mot koldioxidkoncentration (figur 7). Dessa är exempel från en pågående mer omfattande studie i olika jordar och visar att även om både lustgas- och koldioxidhalter varierar vid tidpunkter eller behandlingar så kvarstår sambandet i marken mellan dessa två växthusgaser som starkt.

Högre lustgaskoncentrationer har kunnat uppmätas efter kraftiga regn i t ex augusti jämfört med de mycket låga koncentrationer som uppmättes under den torra sommaren. När vattenhalten ökar i markprofilen gynnas denitrifikationen, en process som medför avgång av såväl koldioxid som lustgas (Figur 7) som också kan vara betydelsefull i jordbruksmark. Denna samvariation av CO<sub>2</sub> och N<sub>2</sub>O i markatmosfären har konstaterats vid samtliga tillfällen som både lustgas och koldioxid analyserats samtidigt i markatmosfären i led G och B på Lilla Böslid och i led E på Mellby, med början i september 2012. Resultaten indikerar en gemensam process, sannolikt denitrifikation, som i första hand ger upphov till lustgasen som produceras. Detta kan tolkas som att denitrifikationen i denna kvävegödslade jord spelar en betydande roll vid nedbrytningen av organiskt material vid sidan om den ”vanliga” markrespirationen. Mer mätningar under kontrollerade förhållanden behövs för att klargöra denna gemensamma process.



**Figur 7. Samband mellan lustgaskoncentrationer och koldioxidkoncentrationer i markatmosfären på Mellby E1 (utan fånggröda) i september 2012 (vänster)och 2013 (höger).**

## Test med nitrattillsats

För att kontrollera att ingen lustgas bildades från provtagningstillfället till analysen genomfördes ett test där två olika koncentrationer nitrat tillsattes till proven (Tabell 4). Testet visade att ingen produktion av lustgas från nitrat förekom i rören i samband med provtagningen.

**Tabell 4. N<sub>2</sub>O innehåll i prov efter tillsatser av nitrat (20 och 100 µl 0,01 M KNO<sub>3</sub>) i samband med provtagningen.**

	Kontroll (ppm N <sub>2</sub> O)	Tillsats 20µl 0,01M NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm N <sub>2</sub> O)	Tillsats 100µl 0,01M NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm N <sub>2</sub> O)
A7	0,64	0,63	0,63
E1	4,0	4,34	4,34
F6	1,82	1,87	1,82

## Slutsatser

Tekniken för att provta och analysera dräneringsvattnet visade sig fungera tillfredsställande och resultaten visade på intressanta skillnader mellan olika jordar och behandlingar. Provtagningar i dräneringsvattnet är förhållandevis enkla att genomföra och representerar en större yta än vad utplacerade *closed chambers* gör. Projektet haft stor nytta av att kunna utnyttja försöken på Lilla Böslid och Mellby.

Projektets ambition att kunna jämföra lustgasavgången via dräneringsvattnet med lustgasemissionen direkt från marken kunde endast genomföras i begränsad omfattning eftersom koncentrationen i marken ofta låg mycket nära den ovanstående atmosfärens koncentration. Resultaten indikerar emellertid att en mycket liten del av den redan låga lustgasavgången avgår via dräneringsvattnet.

Skillnader mellan olika behandlingsled kunde tydligt urskiljas. Liksom i det tidigare projektet som genomförde mätningar på Lilla Böslid 2010/11 visar säsongen 2012/13 betydligt högre lustgasavgång från de led som gödslats med mineralgödsel eller stallgödsel men inte haft fånggröda jämfört med de led som haft fånggröda eller vall. Trots att vallen hade gödslats mer än övriga led var lustgasavgången med dräneringsvattnet lägst från detta led vilket tydligt visar betydelsen av att hålla marken bevuxen över vintern. Gödselgivans storlek samt tillförsel av stallgödsel ser i detta sammanhang ut att ha haft mindre betydelse.

Den totala lustgasavgången över säsongen var dock betydligt lägre för samtliga led 2012/13 jämfört med 2010/11 (Magnheden et al 2012). Detta kan bero på en efterverkan på hela fältet av en vall som plöjdes ned 2009. Denna kan ha gett upphov till en tillfällig pool av kväve som sedan klingat av de nästkommande åren. Andra studier har visat att skörderester som plöjs ner kan ge upphov till stor lustgasavgång (Chen et al 2013).

På Mellby genomfördes mätningar i två led med likartad gödsling men med och utan fånggröda samt med en ogödslad kontroll som jämförelse. Också här minskade fånggrödans lustgasavgång via dräneringsvattnet. De båda gödslade leden hade också betydligt högre lustgasavgång än den ogödslade kontrollen. Resultaten var till viss del något mer osäkra på Mellby och en tendens till högre lustgasavgång med fånggröda på våren kunde urskiljas. Den totala avgången för säsongen var dock fortfarande lägre med fånggröda.

Ett råd till lantbrukare är alltså att hålla marken bevuxen under vintern. Dessa tre säsonger av lustgasmätningar, som visserligen visade på låg avgång, ger dock en fingervisning om att åtgärder som minskar kväveläckaget också är positiva för att begränsa lustgasavgången. Tydliga samband (stark



signifikans) mellan totalkväveläckage och lustgasavgång har visats för samtliga säsonger på både Lilla Böslid och Mellby.

Samtidiga mätningar av lustgas och koldioxidemission på Mellby visade också att den ”växthus-drivande” gasen praktiskt taget helt är koldioxid. Hänsyn har då tagits till lustgasens GWP (Global Warming Potential). Den begränsade mätning av lustgasemission till atmosfären som gjordes på Lilla Böslid visade en jämförbar avgång från de två leden och uppgår endast till ca 1 % av den totala klimatpåverkan från detta försöksled.

## Resultatförmedling

Resultatet från projektet har presenterats som poster i samband med NJF seminariet ”*Management strategies for reduced N<sub>2</sub>O emissions from North European agricultural soils*” den 9 september 2014 på Hotell Strandbaden i Falkenberg. Sammanfattningar av seminariet och abstract kommer att publiceras på NJFs hemsida.

Resultatet finns också publicerat i en rapport från Hushållningssällskapet Halland, som publicerats på Hushållningssällskapets hemsida.

Resultaten från projektet kommer även tas upp i två vetenskapliga artiklar. Föreslagna titlar på manuskripten är ”*N<sub>2</sub>O in drainage water from arable land - influence of runoff and nitrogen*” och ”*Spatial covariation of N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> in soils*”. Tänkta tidskrifter är Soil Science and plant nutrition eller Nutrient cycling in agroecosystems.

Resultaten från projektet har också presenterats som en nyhet på [www.greppa.nu](http://www.greppa.nu) den 28 oktober 2014. Nyheterna på denna sida riktar sig till lantbrukare samt rådgivare verksamma inom Greppa Näringen.

Kunskapsläget inom projektet har också kommunicerats av Erik Ekre vid ett antal möten. 25 februari 2013 för Miljö- och hälsoskyddsnämnden i Halmstad, 7 mars 2013 för Suseåns vattenråd, där både lantbrukare och myndigheter ingår, 8 maj 2014 för LRF-presidiet i södra Sverige och 8 september 2014 för Jordbruksverket och HAV.

En sammanfattning av resultaten kommer också under våren att publiceras i tidskriften Arvensis.

## Referensgruppsmöten

Inom projektet har hållits två referensgruppsmöten. Det första mötet hölls den 15 maj 2013 på Lilla Böslid. På mötet deltog Anna Aurell Svensson, växtodlingsrådgivare Växa Sverige, Maria Berglund och Erik Ekre, Hushållningssällskapet Halland, Siegfried Fleischer, Marie Magnheden och Marie Mattsson, Högskolan Halmstad, Gustav Skyggeson, lantbrukare och Maria Stenberg, SLU. Vid det andra mötet den 12 juni 2014 deltog alla ovanstående och Maria Henriksson, klimatexpert, Växa Sverige. Frågor som tagits upp på referensgruppsmötena handlar bl a om sambandet mellan avrinning och lustgasavgång, och hur det hade sett ut på andra jordarter. Mätningar av lustgasemissioner från Lanna i Västergötland redovisades.

## Referenser

Aronsson, Helena. Personlig kommunikation, Institutionen för mark & miljö, SLU, Uppsala

Chen H., Li X., Hu F., Shi W., 2013. Soil nitrous oxide emission following crop residue addition: a meta-analysis. *Global change biol.* 29, 2956-2964.

IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Kasimir Klemedtsson, Å. 2009. Hur mycket lustgas blir det vid odling av biobränslen på åkermark i Sverige? Rapport till Energimyndigheten 2009.

Magnheden, M., Mattsson, M., Fleischer, S., Berglund, M., Ekre, E. och Aronsson, H. 2012. Lustgas i dräneringsvatten. SLF-rapport H0933255.

Naturvårdsverket. 2013. National inventory report Sweden 2013. Naturvårdsverket, Stockholm.

Petersen SO., 2014. N<sub>2</sub>O emissions from organic and conventional crop rotations. NJF seminar 480. Falkenberg, Sweden, 9 September 2014.

Rodhe L., Pell M., Yamulki S., 2006. Nitrous oxide, methane and ammonia emissions following slurry spreading on grassland. Soil use and management 22, 229-237.