

Slutredovisning av projektet "Kvävemineralisering i precisionsjordbruk"

Thomas Kätterer och Thord Karlsson

Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö

Bakgrund

Den rumsliga variationen av markegenskaper är en viktig orsak till variationen i skördens kvantitet och kvalitet. Syftet med precisionsodling är att utifrån denna variation kunna sätta in platsanpassade odlingsåtgärder som leder till kvantitativt och kvalitativt höga skördar och minskade förluster.

En strategi där mera kväve tillförs än i genomsnitt över fältet på de delar av fältet där beståndet är tätare kan vara bra under vissa betingelser medan det kan vara sämre under andra. När det är dags att bestämma sig för storleken av en komplettering med kväve måste man kunna skatta grödans potential, framförallt om den kommer att vara begränsad av vatten eller näring. Om vi vet hur länge och hur intensiv en eventuell vattenbrist har varit fram till dess beslutet om kompletteringsgödsling så fattas, kan vi justera den potentiella avkastningen och motsvarande kvävegiva. För att kunna fatta ett bra beslut måste vi dessutom veta hur mycket kväve som för närvarande finns tillgängligt i marken och hur mycket som kommer att mineraliseras fram till slutet av upptagsperioden. Vilken gödslingsstrategi man än väljer så är markens kväveleveransförmåga en viktig variabel att ta hänsyn till.

Eftersom nederbörden fram till gödslingstillfället är känd, kan grödans vattenstress beräknas med hjälp av vattenbalansmodeller som tar hänsyn till grödan täthet samt markens textur och mullhalt. Detta är en förutsättning för att kunna tyda t.ex. N-sensor mätningar på ett adekvat sätt.

Den låga korrelationen i skördar mellan år på samma plats i ett fält tyder på att olika processer styr skördenivån under olika år. I ett försök i Uppsala kunde lerhalten förklara 22% av skördens varians i 79 rutor i ett fält under ett torrt år (1999), 11% under ett normalt år (1997) och 0% under ett år (1998) med rikligt nederbörd (Algebro m.fl., 2000). Betydelsen av markens textur för skörden visar sig tydligt under torra år. På samma sätt visar sig kvävebrist mycket tydligare när gödslingsnivån är låg. I fält där gödslingsnivån är hög är korrelationen mellan mullhalt och skörd ofta låg.

I ett försök i västra Sverige var korrelationskoefficienten 0,75 mellan kväveupptag i grödan och mullhalten i ett ogödslat försöksfält (Börjesson m.fl., 1999). Det är sannolikt att korrelationen skulle vara ännu högre när man tar hänsyn till den plats-specifika tillförseln av organiskt material under föregående år (skörderester, rötter, stallgödsel). För att höja kväveeffektiviteten i växtodlingen måste vi därför utveckla verktyg som beaktar all information som är relevant för en skattning av markens kväveleverans.

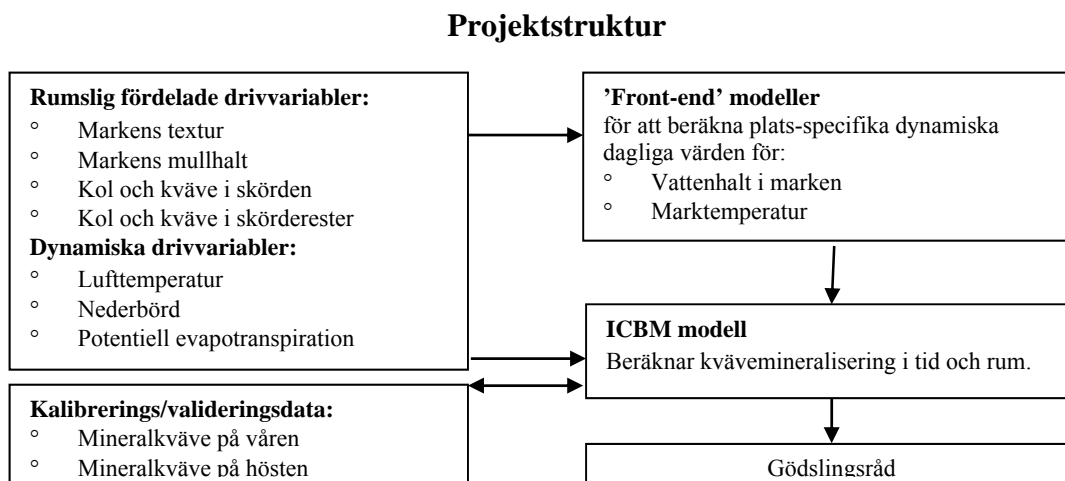
Markfuktighet och temperatur styr hastigheten av kvävemineraliseringen i fält (Andrén m.fl., 1993; Kätterer m.fl., 1998; Kätterer & Andrén, 2001). Kunskapen om det organiska materialets omsättning bör därför kunna användas för att kvantifiera den plats-specifika kvävemineraliseringen med hjälp av enkla beräkningsmodeller som drivs av väderdata.

Syftet med projektet var att utifrån fält-specifik information som i regel är tillgänglig i praktiken och dagliga väderdata (från närmaste väderstation) utveckla ett verktyg för att skatta inom-fälts-variationen av kvävemineralisering.

Material och metoder

Projektstruktur

Det är främst markfuktighet och marktemperatur som styr hastigheten av kväve mineraliseringen i fält (Kätterer and Andrén, 2001). Komplexa modeller som oftast används för att beräkna markens vatten- och energibalans behöver dock mycket plats-specifik information utöver de meteorologiska drivvariablerna som oftast inte finns i det praktiska jordbruket. Vi utvecklade därför s.k. front-end-modeller för att skatta plats-specifika kritiska parametrar för markens vatten- och energibalans utifrån data som ofta finns tillgänglig i praktiska tillämpningar. Dessa front-end-modeller för vattenhalt och marktemperatur, tillsammans med fälldata, användes sedan för att beräkna kväve mineraliseringen på olika platser inom fältet (Fig. 1). Alla delar programmerades i statistikprogrammet SAS till ett simuleringsverktyg för att beräkna kväve mineralisering med daglig upplösning.



Figur 1. Översikt av informationsflöden inom projektet

Pedotransfer-funktioner för att skatta växttillgänglig vatten och skrymdensitet

Utifrån en databas över hydrauliska markegenskaper i svenska jordar utvecklades empiriska modeller för att skatta markens vattenhalt vid vissningsgräns och fältkapacitet samt skrymdensitet från textur och mullhalt. Vi utvecklade modeller som är anpassade till olika typer av tillgänglig information (t.ex. om uppgifter om textur finns tillgängliga som jordart, lerhalt eller fullständig mekanisk analys). Detaljerna om dessa funktioner finns beskrivna i Kätterer m.fl. (2006). Den beräknade mängden växttillgänglig vatten räknades sedan om till ett index som styr nedbrytningen av organiskt material och kväve mineralisering (Kätterer & Andrén, 2001; Karlsson m.fl., 2011).

Semi-empirisk modell för att skatta marktemperaturprofiler

Långa tidsserier av marktemperaturprofiler finns för 11 SMHI-väderstationer. Vi använde dessa data för att utveckla en enkel modell som skattar marktemperaturprofiler utifrån

lufttemperatur och en bladytindex som beräknades utifrån gröda och kärnskörd. Detaljerna om dessa funktioner finns beskrivna i Kätterer & Andrén (2009). Marktemperaturen användes sedan för att styra nedbrytningen av organsikt material och kväveminerisering (Kätterer m.fl., 1998; Kätterer & Andrén, 2001; Karlsson m.fl., 2011).

Dataserier från tre platser

Grödornas utveckling och markegenskaper inklusive netto-kvävemineriseringen (grödans N upptag plus förändringen i mineralkvävemängden mellan vår och höst) studerades i tre fält i nollrutor (ingen kvävegödsling) under flera år. Data för perioden 1998-2000 från 34 platser inom ett fält i Västra Götaland (Ribbingsberg) som användes här hade redan tidigare samlats in och rapporterats inom ramen för ett annat projekt (Delin & Lindén, 2002; Delin & Berglund, 2005).

Under våren 2003 lades det ut tre fältförsök för att få ett mera komplett datamaterial. Delar av den experimentella verksamheten samordnades med SLF-projektet "Indelning av fält i mineraliserings-zoner för styrning av N-tillförsel" i samarbete Anders Jonsson, Johanna Wetterlind och Bo Stenberg. Fältförsöken placerades i Västergötland (Ribbingsberg), Närke (Nybble) och Uppland (Hacksta). Vi valde ut 20-23 platser per fält som representerade fältens variation i markegenskaper där vi placerade nollrutor (ingen N-gödsling). Under 2004 fortsatte fältarbetet på samma fält men på 13 - 21 nya platser. Under växtsäsongen 2004 genomförde vi ett omfattande mätprogram i både nollrutor och gödslade rutor. Förutom standardmätningar av markttextur, totalhalter C och N, mineralkväve (flera gånger per år), skrymddensitet, ovanjordisk biomassa (flera gånger per år) och kärnskörd, scannades fälten 3 gånger med N-sensor. Markens vattenhalt mättes både gravimetriskt och med TDR, flera gånger under året.

ICBMN-modellen

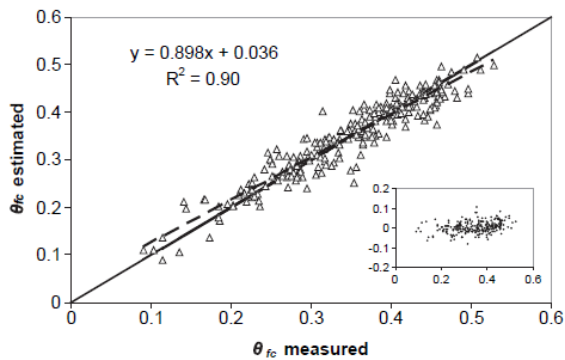
ICBMN bygger på samma principer som de flesta andra nedbrytningsmodeller men är analytiskt löst och därför lätt att använda t.ex. i ett vanligt Excel-program eller GIS-celler (Kätterer and Andrén, 2001). Mineraliseringsförloppet styrs av markens vattenhalt och temperatur samt mängd och kvalitet hos det organiska materialet.

Fältmätningarna enligt ovan användes tillsammans med front-end-modellerna för att ställa in modellen till respektive plats inom varje fält (Fig. 1). Inflöden av organiskt material till marken beräknades utifrån föregående års kärnskörd, proteinhalt och skörderesthantering.

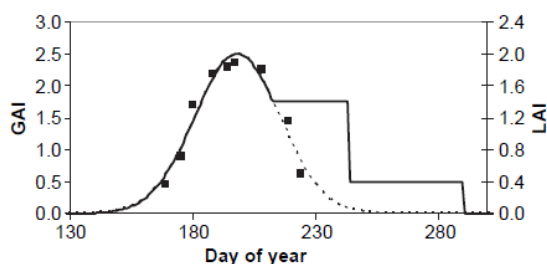
Resultat

Växttillgängligt vatten

Pedotransfer-funktionerna som utvecklades kunde relativt väl skatta mängden växttillgängligt vatten utifrån textur och mullhalt när de testades på oberoende data (Fig. 2).



Figur 2. Uppmätta vattenhalter ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) vid fältkapacitet (θ_{fc} ; 100 cm vattenpelare) och värden skattade med pedo-transferfunktioner för en oberoende datasats. Den inskjutna figuren visar residualerna. För detaljer, se Kätterer m.fl. (2009).



Figur 3. Dynamiken av transpirerande växtdelar (GAI = green area index) i vårkorn och marktäckningsgrad av all biomassa (LAI) under vegetationsperioden. GAI används för att beräkna vattenbalansen och LAI för att beräkna energibalansen. Funktionernas amplitud styrs enbart av kärnskörd och skalningen i tiden styrs av tidpunkt för sådd, skörd och plöjning. Detaljer finns beskrivna i Bolinder m.fl. (2008), Kätterer & André (2009) och Karlsson m.fl. (2011).

Vattenbalansmodellen som utvecklades för att beräkna dagliga vattenhalter i marken redovisades av Karlsson m.fl. (2011). Empiriska funktioner utvecklades från litteraturdata för att skatta en grödas transpirationsbehov utifrån kärnskörd och datum för sådd, skörd och plöjning (Fig. 3). Vi visade i en tidserieanalys att tidsstegens längd är av betydelse i vid dessa beräkningar. En lägre upplösning i tiden, från en dag till en månad, ledde till en överskattning av nedbrytningshastigheten, främst beroende på vattenfaktorn, med mera än 10% i genomsnitt i en sandjord; i en lerjord var dock denna bias inte lika tydlig (Fortin m.fl., 2011).

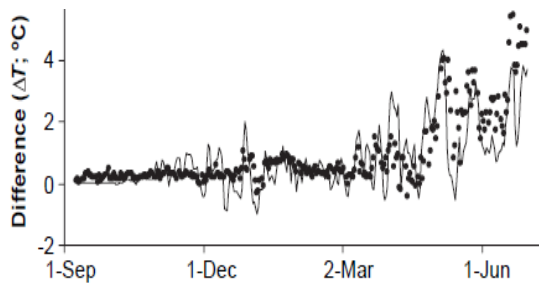
Marktemperatur

Marktemperaturmodellen kunde relativt väl skatta betydelsen av grödornas täthet för markens energibalans (Fig. 4). Temperaturen under tät vegetation är betydligt lägre jämfört med bar mark eller en gles gröda. Eftersom nedbrytningen av organiskt material är mycket känslig för temperaturen så är påverkan av vegetationen täthet på marktemperaturen inte försumbar.

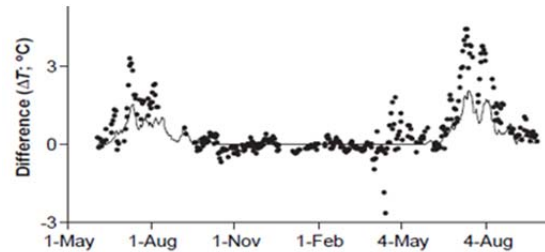
Tillämpning av ICBMN-modellen i fält

Modellen testades mot data från fältet i Västergötland (Ribbingsberg) där netto-kvävemineralisering (dvs. N upptag i ovanjordisk biomassa plus förändringen i markens mineralkväveförråd mellan vår och höst) skattades i 34 ogödslade rutor på ett fält under växtsäsongen 1999 och 2000 (Karlsson m.fl., 2011). Modellen kunde relativt väl förklara skillnaderna i genomsnittlig kvävemineralisering mellan åren, men förklaringsgraden var mycket lägre under de enskilda åren (Fig. 5). Den genomsnittliga större mineraliseringen under 2000 jämfört med 1999 berodde främst på en varmare vår och försommar (Fig. 5). Slutsatsen från denna studie var att andelen av variationen i netto-kvävemineralisering som

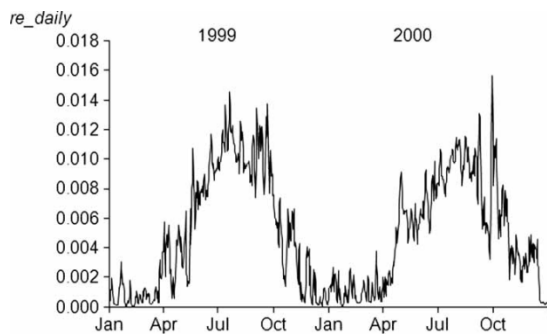
modellen förklarade var av samma storleksordning som man kan skatta utifrån mullhalt och markttextur med en linjär regressionsmodell.



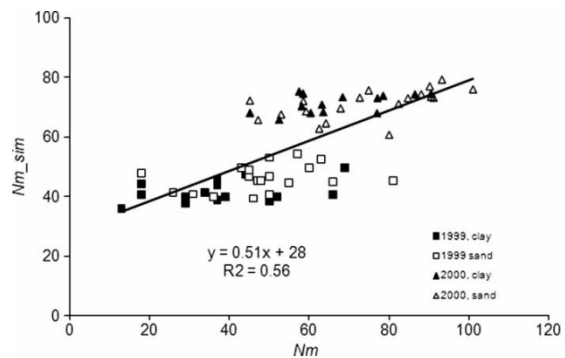
Figur 4a. Validering av den empiriska markttemperaturmodellen (Kätterer & Andrén, 2009): Uppmätta och simulerade skillnader i markttempertur på 5 cm djup under svart träda jämfört med en rapsgröda.



Figur 4b. Validering av den empiriska markttemperaturmodellen (Kätterer & Andrén, 2009): Uppmätta och simulerade skillnader i markttempertur på 5 cm djup i gödslad jämfört med ögödslad korn (höger).



Figur 5a. Dagliga värden av den relativa nedbrytnings-hastigheten under 1999 och 2000 för en av platserna för fältet i Ribbingsberg (Karlsson m.fl., 2011).



Figur 5b. Samband mellan uppmätt (N_m) och beräknad (N_{m_sim}) nettokvävemineralisering under växtsäsongerna 1999 och 2000 för en av platserna för fältet i Ribbingsberg (Karlsson m.fl., 2011).

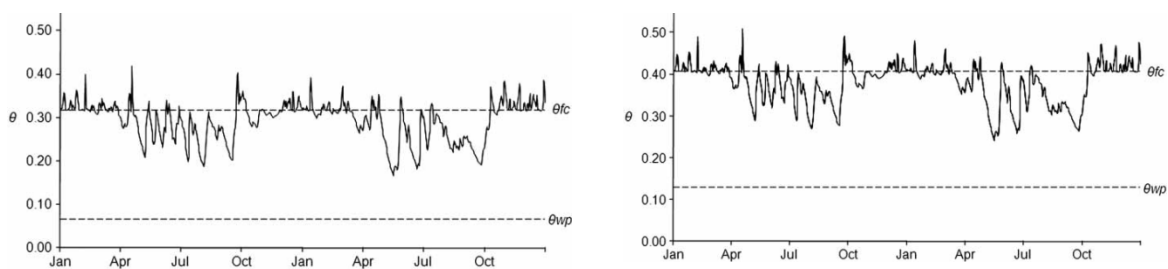
Försöken på Ribbingsberg, Nybble och Hacksta som studerades under 2003 och 2004 bekräftade i många avseenden resultaten från vårt tidigare arbete enligt ovan (Karlsson m.fl., 2011), d.v.s., att modellens förklaring av variationen inom fält var av samma storleksordning som man kan skatta utifrån mullhalt och markttextur med en linjär regressionsmodell (Karlsson m.fl., manuskript). De tre fälten hade olika stor variation på total C och N. Mullhalten i Hacksta, Nybble och Ribbingsberg är i medeltal 3,7% (2,0 – 5,6), 7,6% (3,2 – 17,3) respektive 7,0% (1,7 – 17,5). Där skillnaderna i mullhalt mellan försöksrutorna var stor fanns det ett signifikant samband mellan modellens beräknade N-mineralisering och den uppmätta. Där skillnaderna i mullhalt var små var modellens förklaringsgrad av variationen i nettomineralisering nästan obefintlig.

Diskussion

Front-end-modellerna som har vidareutvecklats inom projektet är av generell karaktär och är inte bara tillämpbara i ett precisionsodlingssammanhang. Konceptet har redan använts för att beräkna kolbalanser i svensk jordbruksmark på nationell nivå (Andrén m.fl., 2008), för analys av långliggand fältförsök (Juston m.fl., 2010; Bolinder m.fl., 2012) och i flera andra sammanhang (Andrén m.fl., 2007; Bolinder m.fl., 2008; Lokupitiya m.fl., 2012). Den har också vidareutvecklats för andra grödor än spannmål (Bolinder m.fl., 2012).

Tillämpningarna inom precisionsjordbruket visade att skillnaderna i kväveminerisering mellan åren kunde ganska väl skattas (Fig. 5b). Däremot var förklaringsgraden av nollrutornas mineralisering under samma år av samma storleksordning som man kan skatta utifrån mullhalt och markttextur med en linjär regressionsmodell.

Den uppmätta spridningen i mineralisering mellan nollrutorna på samma fält var större än den simulerade (Fig. 5b). Detta beror till stor del på relativt blöta växtsäsonger under både 1999 och 2000. Simuleringarna resulterade i liknande vattenrelaterade nedbrytningsförhållanden i sandiga och leriga nollrutor eftersom skillnaderna i de relativa vattenhalterna (dvs. $(\theta - \theta_{wp})/(\theta_{fc} - \theta_{wp})$ enligt figur 6) var väldigt små. I fältförsöket utnyttjades 7 punktmätningar för vattenhalt och sedan beräknades vattenhalterna för övriga punkter utifrån markens textur. Detta gav troligen inte tillräcklig precision eftersom det finns en småskalig variation i textur och modellen hanterar inte topografin och därmed horisontella vattenflöden inom fältet. Den simulerade variationen mellan nollrutorna bestämdes således i stor utsträckning av variationen i skörderester och mull i respektive ruta. Eftersom modellens respons till dessa variabler är ganska linjär så är det logiskt att förklaringsgraden av modellen var obetydligt högre än i en enkel linjär regression mot mullhalt och skörderester.



Figur 6. Uppmätta vattenhalter (θ ; $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) i en sandig (vänstra figuren) och en lerig nollruta (högra figuren) på Ribbingsberg under åren 1999 och 2000 enligt Karlsson m.fl. (2009). De båda horisontella linjerna visar vissningsgräns (θ_{wp}) respektive fältkapacitet (θ_{fc}).

Andra problem utöver vattenbalansen som påverkade modellens förklaringsgrad rör den "uppmätta" kvävemineriseringen, som snarare är en skenbar precis mätning. Eftersom skillnaderna i mineralkvävemängd mätt under vår och höst är i regel ganska små, så bestäms kvävemineriseringen i huvudsakligen av det uppmätta kväveupptaget i grödan i nollrutan.

Av egen erfarenhet vet vi att kväveupptaget i intilliggande rutor i ett fält som har klippts, vägts och analyserats på samma sätt, kan skilja sig med upp till 25%. Både den småskaliga variationen i fältet och alla steg i provberedning och analys bidrar till denna variation. För att kunna skatta variationen i kväve mineralisering inom ett fält under vegetationsperioden med högre precision krävs mera noggranna mätningar än vad som är rimligt i praktiken och förmodligen också en mera komplex modell.

Slutsats

Modellkonceptet som vidareutvecklades inom projektet har många användningsområden. Det har i denna studie visat sig fungera väl för att skatta nettokväve mineraliseringen mellan åren på samma plats. För att kunna skatta variationen i kväve mineralisering inom ett fält med högre precision krävs dock mera noggranna mätningar än vad som är rimligt i praktiken.

Referenser

- Algerbo P.-A., Thylén L., Mattsson L. 2000. Mineralkvävevariationer inom fält - effekt på avkastning och produktkvalitet. JTI-rapport Lantbruk & Industri 275, 26 sidor.
- Andrén O., Rajkai K., Kätterer T. 1993. Water and temperature dynamics in a clay soil under winter wheat: influence on straw decomposition and N immobilization. *Biol. Fert. Soils* 15: 1-8.
- Andrén O., Kätterer T., Karlsson T., Eriksson J. 2008. Soil C balances in Swedish agricultural soils 1990-2004, with preliminary projections. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 81:129-144
- Andrén O., Kihara J., Bationo A., Vanlauwe B., Kätterer, T. 2007. Soil climate and decomposer activity in sub-Saharan Africa estimated from standard weather station data – a simple climate index for soil carbon balance calculations. *Ambio* 36(5):379-386.
- Bolinder M.A., Andrén O., Kätterer T., Parent L-E. 2008. Soil organic carbon sequestration potential for Canadian agricultural ecoregions calculated using the Introductory Carbon Balance Model. *Canadian Journal of Soil Science* 88:451-460.
- Bolinder M.A., Kätterer T., Andrén O., Parent L-E. 2012. Estimating carbon inputs to soil in forage-based crop rotations and modeling the effects on soil carbon dynamics in a Swedish long-term field experiment. *Canadian Journal of Soil Science* 00:00-00.
- Borgen S.K., Grønlund A., Andrén O., Kätterer T., Tveito O.E., Bakken L., Paustian, K. 2012. CO₂ emissions from cropland in Norway estimated by IPCC default and Tier 2 methods. *Greenhouse Gas Measurement & Management* 00:00-00.
- Börjesson T., Stenberg B., Lindén B., Jonsson A. 1999. NIR spectroscopy, mineral nitrogen analysis and soil incubations for the prediction of crop uptake of nitrogen during the growing season. *Plant and Soil* 214: 75-83.
- Delin S. & Berglund K. 2005. Management zones classified with respect to drought and waterlogging. *Precision Agriculture* 6: 321-340.
- Delin S. & Lindén B. 2002. Relations between net nitrogen mineralization and soil characteristics within an arable field. *Acta Agriculturae Scandinavica, section B, Soil and Plant Sciences* 52: 78-85.

Juston J., Andrén O., Kätterer T., Jansson P-E. 2010. Uncertainty analyses for calibrating a soil carbon balance model to agricultural field trial data in Sweden and Kenya. *Ecological Modelling* 221: 1880–1888

Kätterer T., Reichstein M., Andrén O., Lomander A. 1998. Temperature dependence of organic matter decomposition: A critical review using literature data analysed with different models. *Biology and Fertility of Soils* 27(3): 258-262.

Kätterer T. & Andrén O. 2001. The ICBM family of analytically solved models of soil carbon, nitrogen and microbial biomass dynamics – descriptions and application examples. *Ecol. Modelling* 136: 191-207.

Kätterer T. & Andrén O. 2009. Predicting daily soil temperature profiles in arable soils from air temperature and leaf area index. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science* 59: 77-86.

Kätterer T., Andrén O., Jansson P-E. 2006. Pedotransfer functions for estimating plant available water and bulk density in Swedish agricultural soils. *Acta Agric Scand. Sec. B* 56: 263-276.

Lokupitiya E., Paustian K., Easter M., Williams S. Andrén O., Kätterer T. 2012. Carbon balances in US croplands during the last two decades of the twentieth century. *Biogeochemistry* 107:207–225.

Resultatförmedling

Publikationer helt finansierade av projektet

Karlsson L.O.T., Delin S., Kätterer T., Berglund K., Andrén O. 2011. Simulating site-specific nitrogen mineralization dynamics in a Swedish arable field. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B, Soil and Plant Science* 61: 333-344.

<http://dx.doi.org/10.1080/09064710.2010.490537>

Karlsson L.O.T. & Kätterer T. (manuskript). Predicting variation of net nitrogen mineralization within three arable fields in Sweden

Publikationer delvis finansierade av projektet

Kätterer T., Andrén O., Jansson P-E. 2006. Pedotransfer functions for estimating plant available water and bulk density in Swedish agricultural soils. *Acta Agric Scand. Sec. B* 56: 263-276. <http://dx.doi.org/10.1080/09064710500310170>

Kätterer T. & Andrén O. 2009. Predicting daily soil temperature profiles in arable soils from air temperature and leaf area index. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science* 59: 77-86. <http://dx.doi.org/10.1080/09064710801920321>

Fortin J.G., Bolinder M.A., Anctil F., Kätterer T., Andrén O., Parent L.E. 2011. Effects of climatic data low-pass filtering on the ICBM temperature- and moisture-based soil biological activity factors in a cool and humid climate. *Ecological Modelling* 222: 3050– 3060.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.06.011>

Karlsson L.O.T. 2012. Carbon and nitrogen dynamics in agricultural soils - model applications at different scales in time and space. Doktorsavhandling. Acta Universitatis agriculturae Sueciae 2012:43. <http://pub.epsilon.slu.se/8902/>

Presentationer vid konferenser och seminarier

Karlsson T., Delin S., Kätterer T. 2003. Managing spatial variability of N-mineralisation within a field. Poster presented at the 12th N Workshop, 21-24 sept, University of Exeter, Devon, UK.

Karlsson T., Delin S., Kätterer T. 2003. Managing spatial variability of N-mineralisation within a field. Poster presented at the 4th European Conference on Precision Agriculture (ECPA), Berlin.

Karlsson T., Delin S., Kätterer T. 2004. Managing spatial variability of N-mineralisation within a field. Poster presented at the 7th European International Conference on Precision Agriculture, July 2004, Minnesota, USA.

Karlsson T., Delin S and Kätterer T. 2004. Managing spatial variability of N-mineralisation within a field. Poster presented at the NJF Congress, July 2004, Finland.

Karlsson T., Delin S., Kätterer T., Berglund K. 2004. Inomfältvariation av kväve mineralisering - samband och prognos. Poster vid Jordbrukskonferensen 2004, Ultuna

Karlsson T., Delin S., Kätterer T. 2004. Managing spatial variability of N-mineralisation within a field. The FOOD21 Symposium – Towards sustainable production and consumption. Poster and extended abstracts, April 26-28, Uppsala, Sweden.

Kätterer T. & Andrén O. 2005. Estimating plant available water in Swedish agricultural soils. Poster presented at the Focus on Soils Symposium – Managing Soils for the Future, Sept 14-16, Uppsala Sweden, p55.

Utöver detta har materialet används i undervisning av agronomstudenter.