Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen

Nr. 7 1991

Regionale beregninger af N-udvaskningen

Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Strandgade 29, 1401 København K, tlf. 31 57 83 10

631.86
B52
ex. 3

1512

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 7/1991

Regionale beregninger af N-udvaskningen
et metodestudium med udvalgte eksempler fra Rabis bæk

Kristian Holst, ~~Georg Kjærgaard Andreasen~~,
Niels H. Jensen og Thomas Borup Svendsen
Statens Planteavlsforsøg.
Afdeling for Arealdata og Kortlægning

MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
Strandgade 29
1401 København K

Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

INDHOLD

	SAMMENDRAG	5
1.	INDLEDNING	7
2.	JORDPROFILUNDERSØGELSER	11
2.1	Lokalisering af jordprofilerne	11
2.2	Profilbeskrivelse og prøveudtagning	12
2.3	Analyser	13
2.4	Generel beskrivelse af jordbunden	13
2.5	Udarbejdelse af jordbundskort	16
3.	RODZONEMODELLEN DAISY	18
3.1	Algoritme for DAISY	20
3.2	Support programmer	21
	3.2.1. Program Farm	21
	3.2.2. Program BioScope	22
4.	PARAMETERFASTSÆTTELSE	24
4.1	Jordbund	24
4.2	Interviewdata	25
4.3	Klima og vækstforhold	26
5.	RESULTATER	28
6.	KONKLUSION	36
7.	LITTERATUR	38

SAMMENDRAG

Rapporten viser beregningseksempler med kvælstofsmodellen DAISY i NPO-værkstedsområdet Rabis bæk. Rapporten beskriver desuden datamaterialet, der er indsamlet til karakterisering af området. I den forbindelse har Afd. for Arealdata og Kortlægning (ADK) foretaget jordbundsundersøgelser i både Rabis og Syv bæk områderne. Første del af rapporten omhandler disse undersøgelser. Anden del af rapporten viser eksempler fra Rabis bæk på beregning af udvaskning og produktion.

Der er undersøgt 10 profiler i hvert af områderne. Rabis bæk området består af ferskvandsaflejringer, og der er generelt sket en al-dannelse i området. I de fleste af de undersøgte profiler er alen svagt cementeret. Syv bæk området består af moræneler. De fleste profiler viser tegn på lernedslemning, dvs. at der er vasket ler med regnvandet fra de øverste horisonter ned i lagene under. De fleste profiler viser tegn på temporær vandstuvning, dvs. at der i perioder har været højtstående grundvand (anaerobe forhold). Kalken er udvasket fra de øverste 0.5-1.5 meter af jorden, men herunder er morænen meget kalkrig. I både Rabis bæk og Syv bæk findes få lavtliggende arealer med højtstående grundvand, der har betinget tørvedannelse.

Ved hjælp af DGU's jordartskort over det geologiske materiale i 1 meters dybde og ADK's jordklassificeringskort kan hvert af områderne deles i 3 delområder. Rabis bæk består således af et grovsandet areal, et lerblandet sandjordsareal og et lavbundsareal.

Data vedrørende dyrkningspraksis i Rabis bæk er indsamlet af Det Danske Hedeselskab (DDH) ved hjælp af interviewundersøgelser i 1987. Der er indhentet oplysninger om afgrøder, forfrugt, gødningstildelinger og tidspunkter.

Klimadataene er leveret af Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, Institut for Jordbrugsvidenskab, Sektion for Kulturteknik og Planteernæring samt Statens Planteavlsforsøg, Afd. for Jordbrugsmeteorologi.

Der er foretaget kvælstofudvasknings- og udbytteberegninger ved hjælp af DAISY for udvalgte afgrøder. Beregningerne er foretaget ved den minimale, gennemsnitlige og maximale tilførsel af kvælstof, som aktuelt er fundet i området for den givne forfrugt-afgrøde kombination. Der er også foretaget beregninger ved tilførsel af husdyrgødning efterår og forår. For at illustrere klimaets betydning er gennemført beregninger for forskellige år, men i øvrigt ved brug af samme forudsætninger.

Resultaterne fra modelberegningerne viser, at kvælstofudvaskningen er stærkt afhængig af de klimadata, som modellen arbejder med.

Udvaskningen stiger med stigende gødningsanvendelse, både med hensyn til handelsgødning og husdyrgødning; dog kan stærkt undergødede afgrøder give anledning til en mindre stigning i udvaskningen.

I de fleste beregningseksempler er udvaskningen 11–26 % lavere på den lerblandede sandjord end på sandjorden. I de aktuelle beregningseksempler fås de største mængder udvasket kvælstof (137–314 kg N/ha/år) i tilfælde med store mængder tilført husdyrgødning i forbindelse med afgrøderne byg, roer og kartofler. Husdyrgødning udbragt om efteråret på ubevokset jord har i de aktuelle eksempler givet anledning til øget kvælstofudvaskning umiddelbart efter.

1. INDLEDNING

Landbrugets kvælstof-udvaskning

Udvaskningen fra landbrugsjord har længe været anset for at være en af de væsentligste årsager til forureningen af vandmiljøet med næringssalte. Dette har bl.a. givet sig udtryk i en række lovgivningsmæssige initiativer med sigte på at reducere kvælstofudvaskningen fra landbruget. De vigtigste af disse initiativer er vedtagelsen af NPO-handlingsplanen i 1985 og vandmiljøplanen i 1987.

Grundlaget for disse initiativer har bl.a. været opstillinger af totalbalancer for kvælstofomsætningen i dansk landbrug. Disse totalbalancer er behæftet med stor usikkerhed, og har siden været udsat for en del kritik, f.eks. fra Statens jordbrugs- og veterinærvidenskabelige Forskningsråd og Statens Jordbrugsøkonomiske Institut (ATV 1990).

Rodzonemodellen DAISY

Kvælstofomsætningen i rodzonen er en uhyre kompliceret proces, der er afhængig af en lang række forhold. For at øge forståelsen, samt for at få et værktøj til simulering af processen, blev der iværksat et større modeludviklingsarbejde under NPO-forskningsprogrammet ved Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole (KVL). Sektionen for Kulturteknik og Planteernæring (S. Hansen, H.E. Jensen, N.E. Nielsen og H. Svendsen, 1990b) skulle udvikle en operationel markmodel, til simulering af planteproduktion og kvælstofomsætning under danske forhold. Dette resulterede i rodzonemodellen DAISY, der er delt i to trin. Første trin simulerer de fysiske processer i jorden, dvs. vand- og varmeforholdene, samt planteproduktionen. Andet trin simulerer kvælstofoptagelse og -transport, herunder udvaskning fra rodzonen. Begrundelsen for at dele modellen i to trin er, at specielt simuleringen af vand- og varmeforholdene i jord er computertidskrævende, og at den største usikkerhed i parameter og initialværdiansættelsen ligger i kvælstofdelen.

DAISY er en søjlemodel, der ikke umiddelbart forventes at kunne anvendes til fladeopgørelser. Nærværende NPO-projekt (NPO-projekt 1.6) skulle illustrere en metode til fladeopgørelser og afprøvning af DAISY i forbindelse med regionale beregninger. Hermed ville muligheden for at forbedre de totale opgørelser af landbrugets kvælstofomsætning også blive undersøgt.

Projektets oprindelige formål

Projektets oprindelige titel var "Regional beregning af N-udvaskningen - Rabis bæk og Syv bæk." Det var hensigten at beregne den totale udvaskning fra de to oplande (Rabis bæk og Syv bæk) ved hjælp af DAISY. Desuden havde projektet til formål at vurdere den regionale effekt af klima, jordbundsforhold, sædskifte og gødningspraksis.

Oprindelige datakrav

Det blev tidligt klart, at DAISY ville stille store krav til kvaliteten og mængden af inputdata, såfremt detaljerede regionale modelberegninger skulle foretages. For at skaffe data til modelkørslerne blev flere aktiviteter iværksat. Afd. for Arealdata og Kortlægning (ADK) udførte en jordbundskortlægning i de to værkstedsområder med henblik på at kunne fastsætte relevante modelparametre for hver enkel mark. Det Danske Hedeselskab gennemførte en interviewundersøgelse (for 1987) for at kortlægge afgrøder, gødningstilførsel, sædskifter m.m. (Olesen, S.E., Hansen, B., 1990). Desuden blev der fremskaffet klimadata fra Afd. for Jordbrugsmeteorologi (Olesen, J.E., 1989) og Sektion for Kulturteknik og Planteernæring, KVL (Jensen, S.E., 1989).

Anonymisering

Der blev indgået aftaler for at sikre landmændenes anonymitet. Dette medførte en "sløring" af interviewdataene, således at en egentlig regional opgørelse med udtegning af kort for de to oplande ikke længere var mulig. Det var dog stadig muligt at vurdere de regionale effekter af klima m.m.

Relationen til NPO-projekt 9.1

I midten af 1989 blev NPO-projekt 9.1 "Produktions- samt udvaskningsberegninger for modelbedrifter" iværksat. Projektet havde til formål at vurdere planteproduktionen og kvælstofudvaskningen for en række scenarier frem til år 2005. ADK skulle udføre beregning af planteproduktion og kvælstofudvaskning ved hjælp af DAISY for en række modelbedrifter. Beregningerne skulle udføres ved 5 forskellige gødningsniveauer for et stort antal repræsentative sædskifter. Landbohøjskolen og Statens Jordbrugsøkonomiske Institut skulle foretage de videre beregninger og sammenstillinger på grundlag af produktionsberegninger og udvaskningsberegninger fra ADK.

På dette tidspunkt var DAISY endnu ikke færdigudviklet, men forventedes at foreligge i en endelig version inden for få måneder. Da færdiggørelsen af DAISY trak ud, blev det i NPO-styringsgruppen besluttet at prioritere gennemførelsen af NPO-projekt 9.1 højest og dermed nedprioritere NPO-projekt 1.6.

Under de systematiske beregninger i NPO-projekt 9.1 blev konstateret en række modelleringsproblemer, der dog blev løst efterhånden som de opstod. Problemløsningen blev foretaget i et tæt samarbejde med konstruktørerne på Landbohøjskolen. Problemerne bevirkede som regel, at modelkørslen blev afbrudt eller gav urealistiske resultater.

Projektet dækkede systematisk et bredt spektrum af sædskifter, klima og jordbund, så kørslerne afdækkede situationer, hvor DAISY ikke fungerede tilfredsstillende. Eksempler på sådanne problemer var forkert håndtering af undersåede afgrøder og forekomst af negative værdier for de beregnede kvælstofkoncentrationer i de øvre jordlag. Denne modelafprøvning var meget tidskrævende, og produktions- og udvaskningsberegningerne til NPO-projekt 9.1 blev først færdige i større udstrækning i august 1990.

DAISY's beregnede udbytter er kun begrænset af vand og kvælstof, hvilket ikke svarer til praksis. Der vil altid forefindes sygdoms- og/eller skadedyrsangreb. Der vil i et vist omfang kunne kompenseres for disse angreb ved en øget kvælstoftilførsel. Der kan heller ikke ses bort fra mangel på øvrige plantenæringsstoffer, ligesom en ujævn fordeling af gødning i praksis vil være uundgåelig. Dette bevirker at de beregnede optimale gødningsmængder er mindre end de optimale gødningsmængder fundet ved forsøg. Det måtte konstateres at resultaterne -bl.a. på grund af ovenstående - ikke var tilstrækkeligt praksisnære og ikke kunne anvendes til økonomisk optimering på Statens Jordbrugsøkonomiske Institut. De sidste modelkørsler blev derfor stillet i bero for at afvente en afklaring af disse problemer.

NPO-styringsgruppen besluttede i stedet at satse på NPO-projekt 1.6 og inden for de givne tidsfrister at nå så meget som muligt af dette projekt.

Revision af NPO-projekt 1.6

Efter afbrydelsen af NPO-projekt 9.1, var der kun få måneder til modelkørsler og rapportskrivning for NPO-projekt 1.6. Dette har bevirket, at det ikke har været muligt at gennemføre de oprindeligt planlagte beregninger og opgørelser. Projektet blev derfor revideret til at omfatte beregning af en samling af eksempler fra Rabis bæk.

Udvaskning og aktuel gødningspraksis

Det var fortsat ønskeligt at illustrere den aktuelle variation i udvaskningen indenfor en given region. Der kunne konstateres ganske store variationer i de tildelte gødningsmængder i de to oplande. Den aktuelle spændvidde kunne derfor fås ved for udvalgte afgrøder at beregne udvaskningen for henholdsvis en minimal, middel og maksimal gødningstilførsel.

Af tidsmæssige årsager måtte beregningerne begrænses til oplandet Rabis bæk og til perioden 1. september 1985 til 31. marts 1988.

Gødningstidspunkt og klima

Det er velkendt, at både klima og tidspunkt for tilførsel af specielt husdyrgødning har væsentlig indflydelse på udvaskningens størrelse. Gødningstidspunktets betydning illustreres ved udvaskningsberegninger for tilførsel af husdyrgødning om efteråret og om foråret. Klimaets betydning illustreres ved at gennemføre udvaskningsberegninger med forskellig klimadata.

Jordbund

Da det oprindelige formål med projektet var at udføre regionale beregninger, blev der foretaget detaljerede jordbundsundersøgelser. Modelkørslerne blev gennemført for to karakteristiske jordbundstyper.

Problemer ved udvaskningsberegningerne

DAISY er i den anvendte version [15.9.90] stort set færdigudviklet, men endnu ikke tilstrækkelig valideret overfor forsøgsresultater.

Det er ikke blot klima, gødningsmængde og -tidspunkt, der giver sig udslag i store forskelle i den beregnede udvaskning. DAISY kræver et meget omfattende og veldefineret datagrundlag og mindre justeringer af visse initialiseringsværdier vil have væsentlig indflydelse på beregningsresultaterne. Mange af disse initialiseringsværdier er vanskelige at fastsætte i praksis på grund af manglende datagrundlag. Specielt er det vanskeligt at foretage en initialisering af jorde, der gennem flere år har fået tildelt husdyrgødning.

Den manglende modelvalidering og modellens store afhængighed af mere eller mindre veldefinerede initialiseringsværdier betyder, at de foreliggende udvaskningsberegninger er behæftet med meget betydelig usikkerhed. Beregningerne skal ses som en illustration af modellens muligheder og dens nuværende begrænsninger - ikke som præcise opgørelser over absolutte udvaskningsværdier.

2. JORDPROFILUNDERSØGELSER

Formål

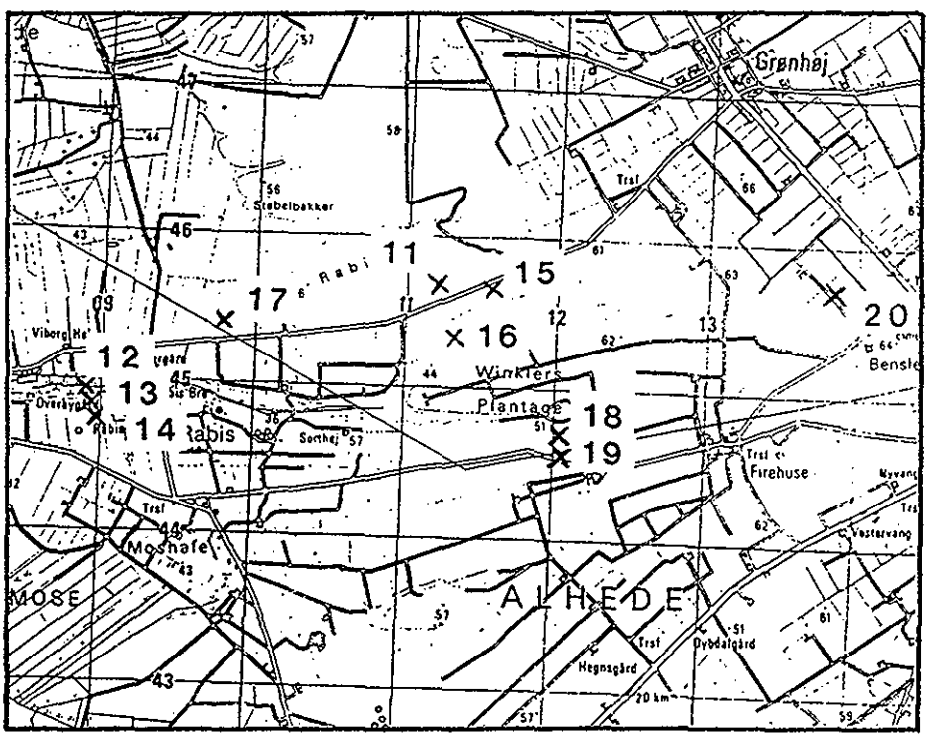
I samarbejde med Geografisk Centralinstitut, Københavns Universitet, er foretaget 10 jordprofilundersøgelser i hver af de to værkstedsområder Rabis bæk og Syv bæk. Formålet med jordprofilundersøgelserne var at tilvejebringe jordbundsfysiske og -kemiske data til beregning af kvælstofomsætningen i jorden. Profilbeskrivelser og analyseresultater fra de 20 profilundersøgelser er indlæst på diskette og tilsendt Miljøstyrelsen, hvorfra kopier kan erhverves. I denne rapport vises derfor kun eksempler på analyseresultaterne.

2.1. Lokalisering af jordprofilerne

Profilernes placering ved Rabis bæk er vist i fig. 1 og ved Syv bæk i fig. 2. Profilerne er lokaliseret således, at de så vidt muligt dækker forskellige elementer i landskabet og forskellige arealudnyttelser.

Rabis bæk

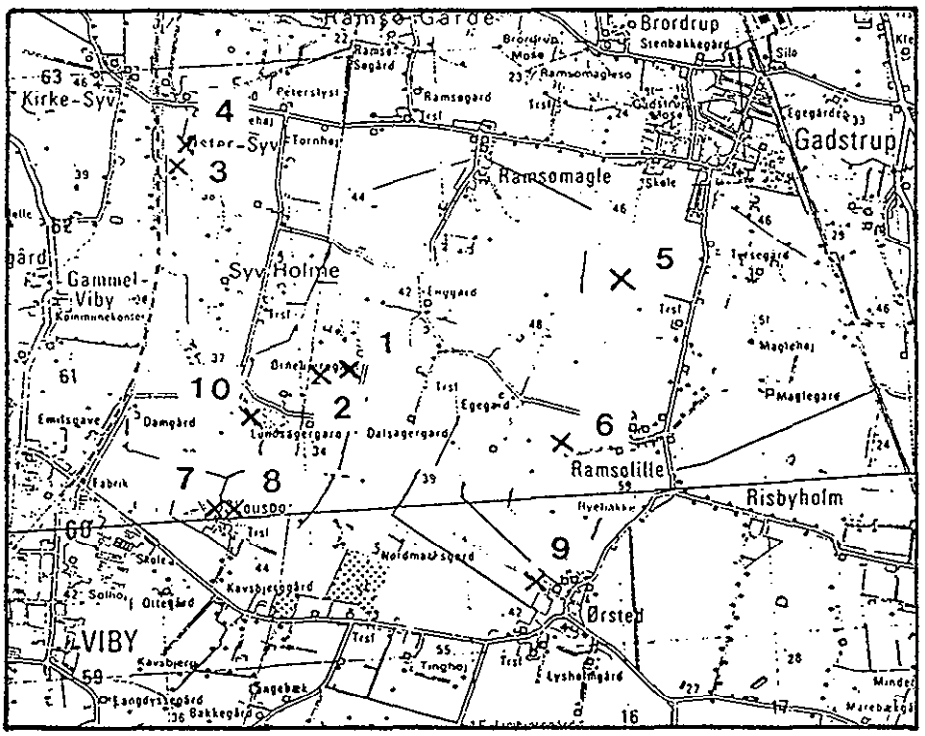
Der er i Rabis bæk undersøgt 4 profiler på dyrket jord i omdrift (profil 14–15, 17 og 20), 3 på hede/lyng arealer (profil 11, 16 og 19), 2 i nåleskov (profil 13, 18) og 1 på græs uden for omdrift på lavbundsjord (profil 12).



Figur 1. Profilernes placering i Rabis bæk.

Syv bæk

I Syv bæk er undersøgt 8 profiler på dyrket jord i omdrift (profil 1–6, 8–9), 1 i løvskov (profil 7) og 1 på ikke dyrket lavbundsjord (10). Profilnumrene henviser til fig. 1 og 2 og til profilnumrene på disketten med resultaterne.



Figur 2. Profilernes placering i Syv bæk.

2.2. Profilbeskrivelse og prøveudtagning

Metode

Feltarbejde blev udført i oktober 1987. Profilundersøgelserne blev foretaget på følgende måde: på de fastlagte lokaliteter blev der med skovl og spade gravet en profil til omkring 1.5 meters dybde, såfremt grundvandet ikke lå højere oppe i profilen.

Profilen blev derefter inddelt i horisonter og beskrevet efter en profilbeskrivelsesnøgle (Madsen & Jensen, 1988), der er identisk med den, der er blevet anvendt ved andre jordprofilundersøgelser ved ADK som f.eks. pedologiske undersøgelser langs DONG's gasledning (Madsen & Jensen, 1985) og i Landskontoret for Planteavl's kvadratnet (Jensen & Madsen, 1988).

Profilbeskrivelsens indhold

Profilbeskrivelsen omhandler kort fortalt en beskrivelse af følgende karakteristika ved profilen:

horisontfølgen og horisontindblandinger,
dybden af de forskellige horisonter,
horisonternes grundfarve og eventuelle pletter (gleypræg),

overgangen mellem horisonterne,
udgangsmaterialets oprindelse,
horisonternes tekstur-, humus-, kalk- og stenindhold,
horisonternes struktur og konsistens,
horisonternes makroporer og rodindhold,
horisonternes indhold af noduler, cementeringer,
pans og belægninger.

Foruden disse karaktertræk, der specifikt omhandler de enkelte horisonter, noteredes dato for prøveudtagning, prøveudtagerens navn, profilnummer, UTM-koordinater, terrænkote og -hældning, profildybde, grundvandsdybde, dræningsklasse, vegetationstype, terrænform og fotos.

Prøver fra forskellige *horisonter*

Efter profilbeskrivelsen blev der udtaget prøver fra de forskellige horisonter til jordbundsfysiske og -kemiske bestemmelser. Der blev fra hver horisont udtaget ca. 1/2 liter jord i ikke naturlig lejring i en prøveæske. Denne jord blev anvendt til alle analyser undtagen vanddretentionsbestemmelserne. Til disse analyser blev der udtaget naturlig lejret jord i 3 ringe (100 cm^3) fra hver horisont. Der blev dog brugt ikke naturligt lejret jord til bestemmelse af vandindholdet ved pF4.2. Prøveudtagningsmetodikken er nærmere beskrevet i Madsen & Jensen (1985).

2.3. Analyser

Analyseomfang

I de 20 profiler fra de to værkstedsområder blev der i alt udtaget 95 jordprøver til bestemmelse af tekstur, humus, $CaCO_3$, pH(H_2O), pH($CaCl_2$), total N, uorganisk og total P og dithionitcitrat- og pyrofosfatopløseligt Fe og Al. Der er desuden udtaget 243 prøver fra 81 horisonter til vandretentionsbestemmelse. Der er bestemt vandindhold ved pF1.0, pF2.0, pF3.0 og pF4.2 på alle prøverne samt pF1.5 på sandjordene.

Texturanalyserne og de kemiske analyser blev foretaget på Centrallaboratoriet i Foulum, og vandretentionsanalyserne blev foretaget på Det Danske Hedeselskab i Viborg. Analysevejledningerne er nærmere beskrevet i Madsen og Jensen (1985).

2.4. Generel beskrivelse af jordbunden

Rabis bæk området består af ferskvandssand, og det meste af området er på ADK's jordklassificeringskort klassificeret som grovsand, men der findes mindre områder klassificeret som lerblandet sand og som humusjord.

Jordbunden i Rabis bæk

Profilundersøgelserne i Rabis bæk viser, at området generelt er sandet, og at der er sket en udbredt al-dannelse i området. Alen dannes ved, at der opløses jern-, aluminium- og humusforbindelser

med regnvandet, og det udvaskes fra de øverste lag og genudfældes i lagene under. Alen kan være hårdt cementeret, men i de fleste af de undersøgte profiler er den kun svagt eller ikke cementeret. pH er generelt lav i området, men på de dyrkede arealer er pH hævet i topjorden som følge af kalkningen.

Dalbunden i den vestlige del af området har højt grundvandsspejl, og det har betinget dannelsen af tørv. Dalbunden i den østlige del af området er derimod veldrænet.

Profilerne fra Rabis bæk

I tabel 1 er vist eksempler på analyseresultater fra 3 profiler fra Rabis bæk.

Profil 19 er fra et hedeareal klassificeret som grovsand. I de øverste 60 cm er lerindholdet lavt og grovsandsindholdet meget højt. Mellem 60 og 110 cm er det grovsandede materiale lagdelt med et mere finkornet. B21hm-horisonten i profil 19 er den øverste del af alen, som i dette tilfælde er humusrig og stærkt cementeret. pH er meget lav øverst i profilen, pH 3.1, men stiger med dybden.

Profil 20 er fra en dyrket jord, der er arealklassificeret som lerblandet sandjord. Den øverste halve meter har mere ler og finsand end den øverste halve meter i profil 19. Der er ikke dannet nogen al i dette profil. pH er her væsentlig højere i det øverste lag end i profil 19 som følge af kalkning. Med dybden aftager kalkningseffekten, og pH nærmer sig det samme niveau som i profil 19.

Profil 12 er fra dalbunden i den vestligste del af området. Profilen består af tørv med 20 cm minerogent materiale øverst.

Jordbunden i Syv bæk

Syv bæk området består af moræneler, og størsteparten er klassificeret som sandblandet lerjord. Mod øst findes områder klassificeret som lerjord, og der findes mindre arealer med humusjord.

Profilundersøgelserne viser, at der i moræneleren generelt er sket en nedvaskning af ler fra de øverste lag til lagene under, der således er blevet beriget med ler. Moræneleren har oprindeligt indeholdt kalk, men dette er blevet udvasket fra de øverste 0.5-1.5 meter af jorden. pH er høj også i de lag, hvorfra kalken er udvasket, sammenlignet med pH-niveauet i jordene fra Rabis bæk.

Tabel 1. Eksempler på analyseresultater fra profiler fra Rabis bæk.

Horisont		<2	2-20	20-200	200-2000	Humus	$CaCO_3$	pH($CaCl_2$)
PROFIL 12								
A1	0- 16 cm	5	4	33	54	4.8	0	4.6
Bj	16- 21 cm	4	2	32	62	0.9	0	4.6
Oe	21- ? cm	*	*	*	*	88.3	0	4.5
PROFIL 19								
A1h	0- 10 cm	*	*	*	*	13.1	0	3.1
A2	10- 26 cm	4	2	17	76	1.9	0	3.5
B21hm	26- 35 cm	6	1	21	67	5.4	0	3.6
B22sv	35- 58 cm	5	1	13	80	1.4	0	4.5
B3sv	58-110 cm lag1	3	1	28	69	0.2	0	4.7
B3sv	58-110 cm lag2	10	7	65	17	0.2	0	4.1
C1	110- ? cm	3	1	6	91	0.1	0	4.4
PROFIL 20								
Ap	0- 13 cm	7	7	37	43	5.6	0	5.4
Bsv	13- 50 cm	10	7	43	39	1.6	0	4.6
B3v	50-120 cm	5	1	7	88	0.2	0	4.4
C1	120- ? cm	2	1	3	95	0.1	0	4.6

Tabel 2. Eksempler på analyseresultater fra profiler fra Syv bæk.

Horisont		<2	2-20	20-200	200-2000	Humus	$CaCO_3$	pH($CaCl_2$)
PROFIL 2								
A1	0- 40 cm	19	16	46	13	5.2	0	7.0
B2tg	40- 80 cm	23	21	40	13	2.8	0	7.3
Cgc	80- ? cm	11	10	35	14	0.5	30	7.5
PROFIL 6								
Ap	0- 40 cm	12	11	38	37	2.0	0	6.6
A2	40- 64 cm	11	10	35	44	0.4	0	6.7
B2t	64-100 cm	21	7	52	20	0.2	0	6.5
B31t	100-124 cm	14	4	19	62	0.2	0	6.7
B32t	124-150 cm	19	6	16	58	0.8	0	6.4
Cc	150- ? cm	11	10	37	16	0.1	27	7.5
PROFIL 10								
Oa	0-110 cm	*	*	*	*	32.0	0	7.2
Cc	110- ? cm	10	10	33	19	0.8	27	7.6

De fleste af de undersøgte profiler viste tegn på temporær vandstuvning inden for den øverste meter. Dette sker når nedbøren overstiger den mængde vand, som kan nå at trænge dybere ned i jorden. Derved dannes et sekundært grundvandsspejl.

Profilerne fra Syv bæk

I tabel 2 er vist eksempler på analyseresultater fra profiler i Syv bæk området. Profil 2 og 6 i tabel 2 viser begge en lerberiget horisont i henholdsvis 40–80 cm og 64–100 cm's dybde. I profil 2 har jorden vist tegn på, at der ofte dannes et temporært grundvandsspejl i 40–80 cm's dybde. Den kalkholdige moræne ses i bunden af begge profiler.

Profil 10 er beliggende på ikke–dyrket lavbundsjord. Her findes et permanent højtstående grundvandsspejl, som har betinget dannelsen af et ca. 1 meter tykt tørvelag. Under denne dybde træffes den kalkholdige moræne.

2.5. Udarbejdelse af jordbundskort

Til beregning af kvælstofomsætningen i landbrugsjorden i Rabis bæk området, blev der udarbejdet et jordbundskort. Der eksisterer to kortlægninger, der beskriver sider af jordbundsforholdene i de 2 værkstedsområder. Den ene er DGU's kortlægning af de geologiske jordarter i 1 meters dybde (DGU 1978), og den anden er ADK's jordklassificeringskort (Mathiesen og Nørr 1976), der viser pløjelagets tekstur.

DGU's jordartskort

DGU's jordartskort er udarbejdet på basis af visuelle beskrivelser af opborede prøver. På landsplan er der i gennemsnit foretaget en boring pr. 200 meter.

ADK's jordklassificeringskort

ADK's jordklassificeringskort viser teksturen i 0–20 cm's dybde. Kortene er udarbejdet i skala 1:50000 og bygger gennemsnitligt på en analyseret prøve pr. 0.7 km^2. Det teksturklassificerede areal omfatter landbrugsjord samt visse naturarealer, men ikke skove. På kortene er teksturen inddelt i 8 klasser (farvekoder), tabel 3, og afgrænsningerne er foretaget i et samarbejde mellem ADK og de lokale landbrugskonsulenter (Mathiesen & Nørr 1976). Grænserne mellem farvekoderne er digitaliserede, og de er i nogle områder blevet tilrettet på baggrund af senere fremkomne data.

Tabel 3. Teksturdefinitionerne på jordklassificeringskortenes farvekoder.

FARVE-KODE	TEKSTURDEFINITION FOR JORDTYPE	Symbol	JB-nr.	Vægtprocent				
				Ler under 2 µm	Silt 2-20 µm	Finsand 20-200 µm	Sand, ialt 20-2000 µm	Humus 58,7 % C
1	Grovsandet jord	GR.S.	1	0-5	0-20	0-50	75-100	Under 10
2	Finsandet jord	F.S.	2			50-100		
3	Grov lerblandet sandjord	GR.L.S.	3	5-10	0-25	0-40	65-95	
	Fin lerblandet sandjord	F.L.S.	4			40-95		
4	Grov sandblandet lerjord	GR.S.L.	5	10-15	0-30	0-40	55-90	
	Fin sandblandet lerjord	F.S.L.	6			40-90		
5	Lerjord	L.	7	15-25	0-35		40-85	
6	Svær lerjord	SV.L.	8	25-45	0-45		10-75	
	Meget svær lerjord	M.SV.L.	9	45-100	0-50		0-55	
	Siltjord	SI.	10	0-50	20-100		0-80	
7	Humus	HU.	11					Over 10
8	Speciel jordtype	SPEC.	12					

Opdeling af jordtyperne

Ved at kombinere DGU's jordartskort og ADK's jordklassificeringskort fremkommer en række arealtyper med forskellige kombinationer af teksturen i pløjelaget og den geologiske jordart i 1 meters dybde.

I Rabis bæk området fremkommer 3 arealtyper: FK1 (FK=farvekode) over ferskvandssand, FK3 over ferskvandssand og FK7 over organisk materiale/ferskvandssand.

Inden for arealet FK1 over ferskvandssand er der foretaget 3 profilundersøgelser på landbrugsjord i omdrift, profilerne 14–15 og 17. Inden for hver af de to andre områder er der foretaget 1 profilundersøgelse på landbrugsjord. For området FK3 over ferskvandssand er det profil 20 og for området FK7 over organisk materiale/ferskvandssand er det profil 12.

I Syv bæk området fremkommer 3 hovedarealtyper. I område FK4 over moræneler er undersøgt profilerne 1–4 og 7–8, i område FK5 over moræneler er undersøgt profilerne 5–6 og 9 og i FK7 over organiske aflejringer er undersøgt profil 10.

For begge områder gælder, at nogle af de undersøgte jordprofiler ikke harmonerer med, hvad man måtte forvente ud fra jordklassificeringskortene. Dette skyldes det relativt ekstensive datagrundlag, jordklassificeringskortene er udarbejdet på.

3. RODZONEMODELLEN DAISY

Institut for Jordbrugsvidenskab, Sektion for Kulturteknik og Planteernæring, KVL, har udviklet den danske simulationsmodel DAISY (Hansen et al., 1990b) for transformation og transport af energi i jord–plante–atmosfære systemet. De tidligere danske modeller WATCROS (Aslyng, H.C. og Hansen, S., 1982) og NITCROS (Hansen, S., Aslyng, H.C., 1984; Aslyng, H.C., Hansen, S., 1985) til simulering af planteproduktion og kvælstofbalance var baseret på en simpel reservoir modellering. DAISY er en mekanistisk model, og den vil kunne give betydelig bedre beskrivelse/forståelse end hidtil af vekselvirkningen mellem de forskellige komponenter indenfor jord–plante–atmosfære systemet.

Vand– og varmetransport

Vandtransport i de øvre jordlag er et komplekst fænomen, og rodzonen er i modsætning til overfladevand– og grundvandssystemer et trefasesystem [fast jord, vandig opløsning og gas]. På grund af de komplekse fysiske egenskaber antages flow i den umættede zone at ske under ret idealiserede forhold. En række antagelser må gøres for at beskrive flowet som en vertikal et–fase vandtransport, f.eks. ved at se bort fra flow i makroporer. En detaljeret diskussion af forudsætninger for den styrende differentialligning for vandtransport, dens egenskaber og numeriske løsning i rodzonen er foretaget af Jensen (1983). Denne ligning – Richards ligning –er en nonlineær, partiel anden ordens differentialligning. Bortset fra problemer omkring hystereseeffekt regnes denne differentialligning at give en tilstrækkelig beskrivelse af den endimensionale vandtransport i den umættede rodzone.

Mekanismer for varmetransport i jord er ledning, konvektion og stråling. Hovedbidraget til varmestrømmen kommer fra ledning gennem jordens faste bestanddele og dens væske. Konvektion er sædvanligvis lille undtagen ved hurtig infiltration af vand efter vanding eller kraftig regn. Strålingstransport er kun af betydning i tør jord og indenfor store porer. En beskrivelse af jords termiske egenskaber og varmetransport i jord er f.eks. de Vries, D.A., Afgan, N.H. (1975). Igen er den styrende differentialligning en partiel anden ordens differentialligning.

Numerisk løsning

For at få et veldefineret matematisk problem må man foruden den styrende differentialligning specificere begyndelses– og randværdibetingelser. Et sådant sæt betegnes et begyndelsesrandværdiproblem. For henholdsvis vand– og varmetransport specificeres passende rand– og begyndelsesbetingelser. De to begyndelsesrandværdi problemer løses separat, ved numerisk at diskretisere ligningssystemet og erstatte differentialligningen/randbetingelsernemed et sæt differensligninger. Differenstilnærmelserne er valgt, så de eliminerer stabilitets– og konvergensproblemerne, der opstår på grund af de nonlineære koefficienter. Både for vand– og varmetransport leder de valgte differenstilnærmelser til en tridiagonal algoritme.

Vandoptagelse

I Richards ligning for vandtransport indgår planternes vandoptagelse som en sinkterm. Det antages, at vandtransporten mod rodoverfladen finder sted som et radialt flow og at flowet mod roden kan estimeres som en serie af stationære tilstande. Anvendelse af massebevarelsesligningen og kendskab til rodtætheden i jordprofilen giver så umiddelbart plantens vandoptagelse.

Organisk stof

Omkring 90% af rodzonens kvælstof indgår i organiske forbindelser, og som følge heraf kan omsætningen af kvælstof modelleres som omsætningen af organisk stof. Omsætningen af organisk stof modelleres konceptionelt ved at opdele det organiske stof i hovedpuljer; nemlig tilført organisk stof (AOM), jordens mikrobielle biomasse (BOM), og jordens organiske stof (SOM). AOM inkluderer planterester og husdyrgødning, BOM er organisk stof i levende mikroorganismer og svampe, medens SOM er det resterende organiske stof (ikke levende) i jorden. Hver hovedpulje underinddeles i to subpuljer, som hver er karakteriseret ved et specielt C/N forhold og ved en speciel omsætningshastighed. I AOM og SOM subpuljerne beskrives kulstofomsætningen ved første ordens reaktion kinetik, hvor hastighedskoefficienten antages at afhænge af lerindhold, jordtemperatur og vandindhold. Den samlede virkning af den organiske stofomsætning er en netto mineralisering eller en netto immobilisering af kvælstof.

Kvælstofoptagelse

Modellering af planternes kvælstofoptagelse bygger på begrebet potentiel kvælstofefterspørgsel, og tilgængeligheden af kvælstof i jorden. Selve kvælstofoptagelsen for planter beskrives analogt til vandoptagelsen som en kvasistationær løsning for diffusiv og konvektiv radial N transport mod rodoverfladen. Ammonium optages i preference til nitrat. Den vertikale bevægelse af uorganisk N beregnes ved at løse konvektions- dispersionsligningen.

I modellen antages afgrødens fysiologiske alder at kunne beskrives ved den termiske alder udtrykt som temperatursum.

Bruttofotosyntesen

Bruttofotosyntesen i plantens bladdel kan være begrænset på grund af vand- eller kvælstofmangel. I tilfælde af vandmangel begrænses bruttofotosyntesen med forholdet mellem den aktuelle og potentielle transpiration. Ved høj og ekstrem lav kvælstofforsyning antages N koncentrationen i plantens tørstof at nå henholdsvis en øvre og nedre grænse [afhængige af plantens termiske alder]. Mellem disse grænser findes en N koncentration (N_t), som lige netop svarer til en tilstrækkelig kvælstofforsyning. Begrænsning i bruttofotosyntesen på grund af kvælstofmangel antages at være proportional med afvigelsen af den aktuelle kvælstofkoncentration fra N_t.

Vand og kvælstofbegrænset produktion

Planten betragtes i DAISY hovedsagelig som en sink/source for energi og stof. Den aktuelle model tillader beregning af planteproduktionen på tre niveauer: nemlig potentiel produktion, vandbegrænset produktion og vand- og kvælstofbegrænset produktion.

3.1 Algoritme for DAISY

DAISY'S struktur

Kildeteksten er skrevet i Fortran 77 (Microsoft Fortran Compiler version 5.00). Første trin til simulering af de fysiske processer og den vandbegrænsede planteproduktion (DAISY1) indeholder lidt over 5500 datalinier, medens andet trin til simulering af kvælstof-omsætning og den kvælstofbegrænsede produktion (DAISY2) består af cirka 5300 datalinier. Begge programsystemer er organiseret som et større sæt af subrutiner. De primære subroutinekald sker i et mindre hovedprogram. Datatransporten er defineret ved et generelt "Include element", hvor alle variable (bortset fra lokalt definerede størrelser) er deklareret, og hvor størsteparten indgår i common blocks.

Under de systematiske modelberegninger i NPO-projekt 9.1 blev der konstateret en række kodningsfejl/modelleringsproblemer, der blev rettet/løst i samarbejde med KVL efterhånden som de opstod. Projekt 9.1 dækker hele spektret af sædskifter for gængse jordtyper (JB1, JB4 og JB6) i to forskellige klimazoner. Sædskifterne er repræsentative for henholdsvis plante-, svine- og kvægavlsbrug.

Fejlkorrektion

Fejlkorrektion i et stort programsystem som DAISY er en tids-krævende proces. Det vanskelige er selvfølgelig at lokalisere programfejlen ud fra kendskab til en fejlrespons i uddata. Ofte var det nødvendigt med et større antal diagnostiske modelkørsler for at finde fejlen.

Funktionelle defekter er bl.a. fundet i forbindelse med undersøgelse af:

a) Variation af vandbegrænset høstudbytte med jordtype – fejlen lokaliseret til indlæsning af hydraulisk tabel.

b) Modellering af varmetransport i jorden – modelmodifikation.

c) Markvanding og anvendte kriterier for vanding – skalafejl og vandtemperaturfejl.

d) Kvælstofbegrænset høstudbytte for rodfrugter (kartofler og roer) – kodningsfejl/modelleringsfejl af assimilatfordeling.

e) Management af undersået afgrøde – ikke tidligere testet, og et sæt af korrektioner måtte foretages.

Modelfejl

I kvælstofomsætningsmodellen er en vigtig komponent gødningstil-førslen til jorden. Imidlertid er fundet flere modelestimationsfejl i forbindelse med denne proces, som endnu ikke er løst fuldstændig tilfredsstillende. Disse fejl optræder især i forbindelse med et stort gødningskvantum eller tætliggende gødskningsdatoer:

a) Nitratkoncentration kan antage negative værdier i de øvre lag – som oftest umiddelbart efter tilførsel af handelsgødning. Som en konsekvens kan planternes kvælstofoptagelse blive negativ på sådanne dage.

b) Planternes ammoniumoptagelse kan blive urealistisk høj på selve tilførselsdagen for gylle. Ligeledes er der problemer med beregning af denitrifikation, som enkelte gange resulterer i negative mængder.

Disse fejlestimater på de enkelte dage [hvis de optræder], får en alvorlig effekt på opgørelsen af de akkumulerede indhold af nitrat og ammonium i jordsøjlen.

3.2 Support programmer

En række support programmer (FORTRAN 77) til rodzonemodellen DAISY er udviklet og implementeret ved ADK. Primært bør nævnes de to større interaktive programmer til opsætning af de nødvendige managements–, gødnings– og runfiler for en modelkørsel (Farm), og til at inspicere og visualisere den kvantitativt store datamængde genereret ved en modelkørsel (BioScope). Sekundært kan nævnes f.eks. et transformationsprogram til at danne nye managementfiler (og tilsvarende runfiler) med markoperations datoer svarende til et andet valg af jordtype og/eller klima end i første modelopsætning.

3.2.1. Program Farm

Håndtering af de forskellige sædskifter

Det interaktive program Farm tillader let at konstruere de relevante set–up filer for simulering af et sædskifte. Sekvensen af input–specifikationer til DAISY er for et helt sædskifte relativt komplekst, og det er vigtigt at sikre, at der allokeres de rette filer, og at sikre konsistens mellem de forskellige filer. En manuel konstruktion vil således være behæftet med mange fejlmuligheder.

Systematisering af input–data

Før en modelkørsel med fysikdelen (DAISY1) må sekvensen af afgrøder, deres så– og høsttidspunkter, jordbehandling, og vanding, etc. være specificeret. Dette gøres i managementfilen. For valgt jordtype og klima allokeres de rette biblioteksfiler til karakterisering af planteproduktion, kulturtekniske foranstaltninger og initialisering af den umættede rodzone (herunder bibliotekskald til termiske og hydrauliske filer). I runfilen kaldes systemmanagementfil, biblioteksfil for meteorologiske forhold og outputfiler. Beregning af kvælstofomsætningen med DAISY2 forudsætter en specifikation af sekvensen af gødningstildelinger, deres datoer og type. Disse data står i gødningsfilen. Allokering af DAISY1 kørsel [dens runfil], og af de rette biblioteksfiler til karakterisering af de inorganiske og organiske forhold i jorden, gødningsfil og printfiler sker i runfilen for DAISY2.

Eksekvering af Farm kan ske manuelt eller semi-automatisk. Vælges den sidste mulighed giver programmet forslag til datoer for diverse markoperationer. For en kompleks jordbehandlingssekvens kan man vælge at få forslag til næste operation. Der kan vælges mellem 3 forskellige driftsformer: plante-, svine- og kvægavls-brug.

Anvendelse af Farm i stedet for en manuel konstruktion ved simulering af et sædskifte har flere åbenlyse fordele:

a) Direkte korrespondans mellem de indtastede markoperations-data og de krævede inputspecifikationer til DAISY (f.eks. er antallet af krævede specifikationer afhængig af afgrøde)

b) Kald af korrekte biblioteksfiler.

c) Opfyldelse af de kronologiske regler, som gælder for specifikation af markoperationsdatoer til DAISY.

d) Konsistens mellem management/runfiler for trin 1 og 2 (f.eks. kræver gylletildeling i andet trin, at der foretages en tilsvarende vanding i første trin med mængden af vand i gyllen).

3.2.2. Program BioScope

Læsning og visualisering af outputfiler

Repræsentations- og diagnostikprogrammet BioScope er et interaktivt program til læsning og visualisering af alle outputfiler dannet ved eksekvering af rodzonemodellen. Intentionen ved udvikling af BioScope har været umiddelbart at give mulighed for "a first look". Problemet ved direkte læsning af outputdata er bl.a.: profildata er givet uformateret, resultatdata er givet for et stort antal størrelser og med skiftende format afhængig af f.eks. vækstfase. En indbygget kopifunktion i BioScope tillader f.eks. at sammenligne forskellige modelkørsler ved brug af professionel grafik som Reflex.

Indhold af data

Første trin i DAISY, som simulerer de fysiske processer, danner et sæt af uformaterede filer til brug i andet trin med beregning af kvælstofomsætningen, og en formateret resultatfil med f.eks. data for planteproduktionsparametre. De uformaterede filer indeholder data om variation af fysiske størrelser ned gennem jordlagene. På timebasis gives volumetrisk vandindhold, flow, og plantens vandoptagelse. På dagbasis gives jordvandets totale potentiale (pF), jordtemperatur og volumetrisk isindhold. Resultatfilen indeholder daglige værdier for management-, meteorologiske- og planteproduktions- variable. Ved beregning af kvælstofomsætningen i andet trin af DAISY genereres daglige profildata for kvælstof i jordsøjlen, og en resultatfil med data for meteorologiske forhold, samt kvælstofs- og planteproduktionsforhold.

Under eksekvering af BioScope listes for den valgte outputfil, hvilke fysiske/biologiske størrelser den indeholder. BioScope tillader at søge et bestemt udsnit af tidsserien, som opfylder visse kriterier. Semi-grafik gør det endvidere muligt at visualisere data i f.eks. profilplot (variation med dybde) eller i tidsserieplot.

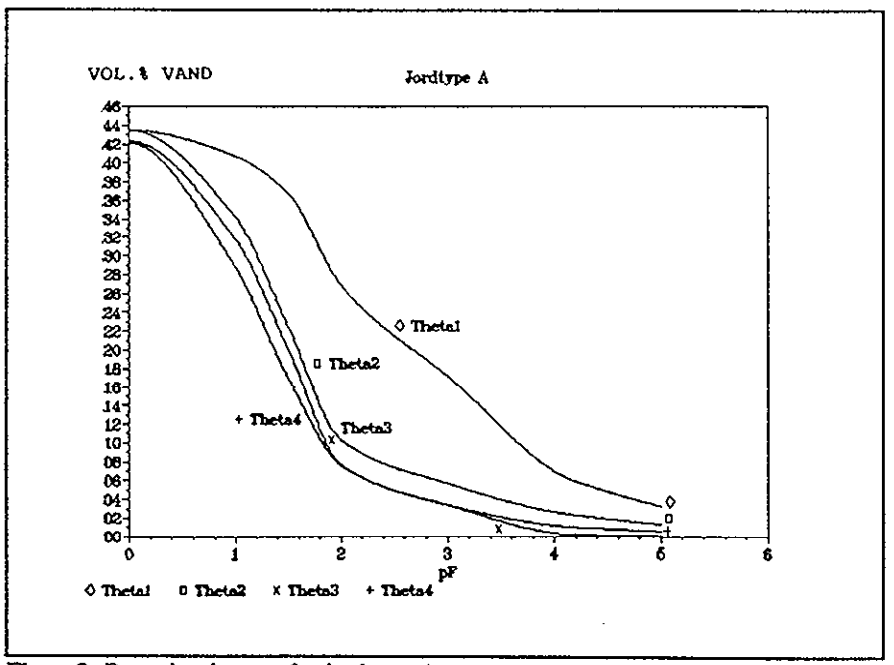
4. PARAMETERFASTSÆTTELSE

4.1 Jordbund

Som beskrevet i afsnittet om jordbundsundersøgelserne i de to værkstedsområder kan Rabis bæk området inddeles i tre regioner på baggrund af jordbundsforholdene.

Regionalisering af jordbundsforholdene

Den ene region omfatter lavbundsjordene i dalbunden. Denne udgør kun en lille del af områdets areal, og der er ikke foretaget beregninger med DAISY inden for dette område. Det øvrige areal blev inddelt i to regioner, og jordbundsforholdene er karakteriseret ved jordtype A og jordtype B. Jordtype A er konstrueret som gennemsnit af horisontinddelingen af og analyseresultaterne fra profil 14, 15 og 17. Retentionskurverne for jordtype A er vist i fig. 3. I tabel 4 er vist jordtype A's horisontinddeling samt indholdet af humus og ler.

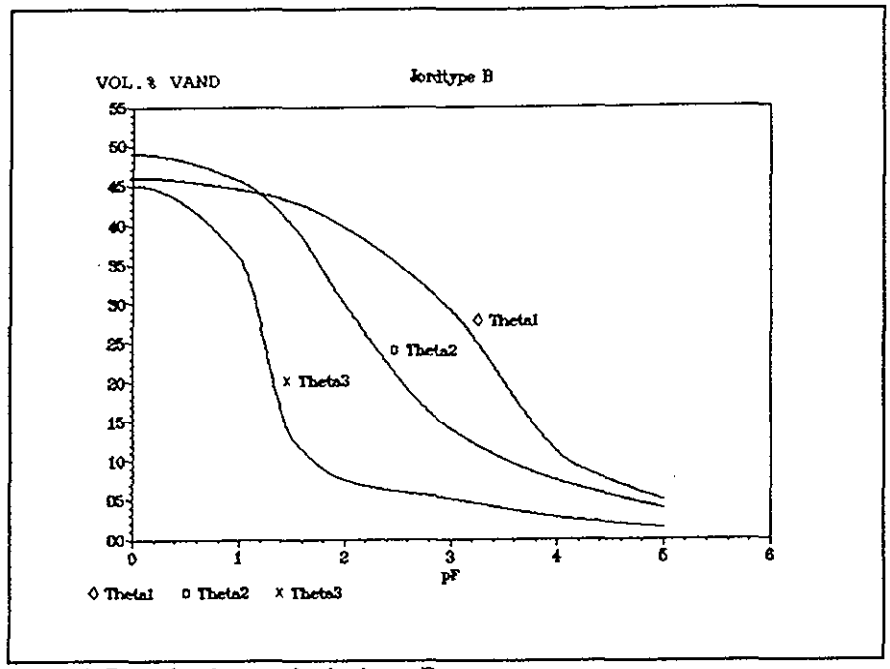


Figur 3. Retentionskurver for jordtype A.

Tabel 4. Anvendte tekstur data for jordtype A.

Betegnelse	Dybde cm	Humus %	Ler %	Kode
Ap	0-30	3.6	6.0	Theta1
B2sv	30-50	0.85	3.0	Theta2
B3sv	50-80	0.20	3.0	Theta3
C	80-100	0.14	2.0	Theta4

Jordtype B er beskrevet ved profil 20. Retentionskurverne for jordtype B er vist i fig. 4 og indholdet af humus og ler i tabel 5.



Figur 4. Retentionskurver for jordtype B.

Tabel 5. Anvendte tekstur data for jordtype B.

Betegnelse	Dybde cm	Humus %	Ler %	Kode
Ap	0-30	5.60	7.0	Theta1
B2sv	30-50	1.60	10.0	Theta2
B3sv	50-100	0.20	5.0	Theta3

4.2 Interviewdata

Indhold af interviewdata

Det Danske Hedeselskab har indsamlet oplysninger om den landbrugsmæssige drift i 1987 for værkstedsområderne (Olesen, S.E., Hansen, B., 1990). I Rabis bæk er givet data for 22 ejendomme, hver med et større antal marker. For den enkelte mark oplyses en række data: Afgrøde i 1987, dens forfrugt, gødningstildelinger og tidspunkter (aktuelle måneder), vanding og jordbundstype. Gødningen er specificeret ved dens type (staldgødning, ajle, gylle og handelsgødning). Her gives den totale tilførte mængde N, P og K [kg/ha].

Ammoniaktab

Ved husdyrgødning er den anførte N-mængde ikke korrigeret for ammoniaktab. Ukorrigeret antages 1 ton kvæggylle at have en tørstofprocent på 9%, og at indeholde 5.0 kg N, heraf 2.9 kg NH_4^+-N og 2.1 kg organisk N. Disse værdier må anses for at være repræsentative for kvæggylle og er også anvendt i NPO-projekt 9.1.

En større eksperimentel undersøgelse af ammoniakfordampningen fra udbragt svinegylle er foretaget af Statens Planteavlsforsøg, Afd.

for Planteernæring og -fysiologi (Sommer og Christensen 1989). Fordampningen af ammoniak varierede med pH, temperatur og tørstofindhold, og der fandtes en betydelig vekselvirkning mellem disse faktorer. Den akkumulerede ammoniakfordampning over seks døgn varierede fra 10 til 60 procent af ammoniakindholdet i den udbragte gylle.

På basis af disse resultater er opstillet en descriptiv model for ammoniaktabet i kvælstofmodellen HUGO (Hansen et al. 1990a). Her skelnes i de indgående fysiske størrelser normalt mellem en lav, middel og høj værdi. Ved konsekvent at vælge gennemsnitssituationen findes, at ved udbringning på afgrøder er den totale fordampning 55% af den tilførte NH_4 mængde. For tabet ved nedmuldning af husdyrgødning er der dels tabet i henliggetiden og dels tabet efter nedmuldning af gødning. Samlet skønnes tabet til 35% .

4.3 Klima og vækstforhold

Der er indsamlet klimadata fra forskellige kilder. Data fra 1984 er modtaget fra KVL, Sektion for Kulturteknik og Planteernæring. Fra 1985-1988 er dataene modtaget fra Statens Planteavlsforsøg, Afd. for Jordbrugsmeteorologi. Dataene fra 1988 er indsamlet fra en klimastation i selve Rabis bæk, mens de øvrige data stammer fra målinger i Foulum.

Der er anvendt døgnværdier for middeltemperatur, globalstråling og korrigeret nedbør. Den potentielle fordampning er beregnet efter en modificeret Makkink ligning (Aslyng og Hansen 1982).

De klimatiske forhold 1985/86

Vinteren 1985/86 var kold og havde en gennemsnitstemperatur i december, januar og februar på +1.4 mod normalen [1931-1960] på 0.5. Foråret 1986 var som helhed temmelig køligt og solfattigt. Denne tendens fortsatte sommeren igennem og bortset fra to korte varme perioder var sommertemperaturen konstant under normalen. For vækstsæsonen april til september registreres 1194 solskinstimer mod normalens 1328. Trods det kølige vejr var sommeren ikke særlig regnrig. Beregninger viser, at der er relativt stort og konstant nedbørsunderskud i tiden fra juni til september.

De klimatiske forhold 1986/87

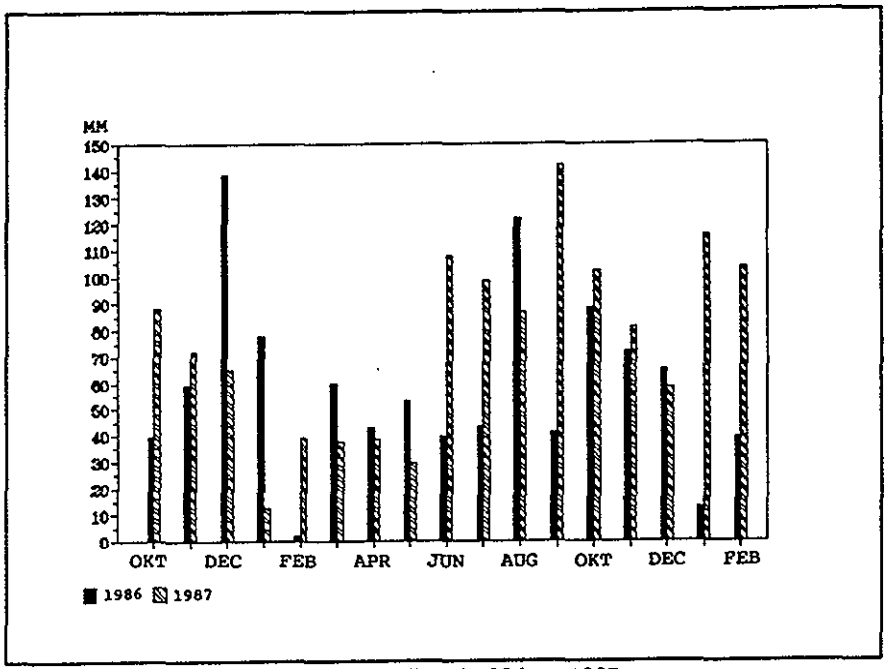
Efteråret 1986 sluttede noget mildere og mere fugtigt end normalt. Vinteren 1986/87 blev derimod streng med min. temperaturer under -15°C i januar. I marts fik vi igen hård vinterkulde indtil midten af måneden.

Foråret og sommeren 1987 var præget af køligt, solfattigt og ustadigt vejr. I vækstperioden april til og med oktober fik vi kun 75% af det normale antal solskinstimer, og samtlige måneder undtagen oktober lå under normalen. Antallet af solskinstimer i 1987 blev således rekordlavt. I vækstperioden lå gennemsnits nedbøren ca. 20% over normalen og specielt fordelt over et stort antal

nedbørsdøgn. Inden for de foregående 10 år har der ikke været et år med tilsvarende lavt vandingsbehov.

De klimatiske forhold 1987/1988

Gennemsnitstemperaturen og antallet af solskinstimer lå i det tidlige efterår 1987 tæt på normalen. Nedbørsmængden i november og december var lidt over normalen, men i januar, februar og marts 1988 faldt der meget store nedbørsmængder, 283 mm mod normalt 128 for Jylland.



Figur 5. Sammenligning af månedsnedbør i 1986 og 1987.

5. RESULTATER

Indholdet af eksemplerne

Der vises i det følgende en række eksempler på Nitrat-N-udvasknings- og udbytteberegninger ved hjælp af DAISY. På baggrund af interviewdataene er der udvalgt en række eksempler på dyrkningspraksis i Rabis bæk. Eksemplerne dækker de mest udbredte kombinationer af forfrugt og afgrøde, som blev oplyst i interviewundersøgelsen. Der er foretaget beregninger for byg efterfulgt af byg, vårraps, rug, roer, græs og kartofler; græs efterfulgt af byg og græs; og sukkerroer efterfulgt af byg og vårraps. Normalt dækker eksemplerne tilfælde med minimal, middel og maksimal N-tilførsel, som er fundet ved interviewundersøgelsen. Eksemplerne dækker N-tilførsel både i form af handelsgødning og husdyrgødning, og med husdyrgødning udbragt på forskellige tidspunkter.

I interviewdataene er opgivet forfrugten, men ikke gødskningspraksis for forfrugten. Denne er derfor konstrueret ud fra, hvordan praksis har været for de tilsvarende afgrøder i 1987.

De valgte kombinationer af forfrugt, afgrøde, gødningstildeling og jordtype, som der er foretaget beregninger for, er vist i tabel 6. Modelberegningerne bliver sikrest ved at starte beregningerne nogle år inden den periode, hvorfra resultaterne ønskes. Derfor er beregningseksemplerne gennemregnet for perioden 1. september 1985 til 31. marts 1988.

Kode for hvert eksempel

Hvert beregningseksempel er betegnet med en kode både i tabel 6 og i fig. 7-10. Koden i figurerne henviser til tabel 6, hvor dyrkningspraksis for beregningseksemplerne er beskrevet.

Initialiseringsværdier

Udover de indsamlede data vedrørende jordbund, klima og dyrkningspraksis, kræver DAISY fastsættelse af en lang række parameterværdier til initialisering af modellen og beskrivelse af jord og plante. Til karakterisering af de organiske/uorganiske forhold i jorden er der således ca. 150 parametre. Plantespecifikke parametre per afgrøde udgør omkring 150 stk. Øvrige parametre udgør ialt ca. 50. De anvendte filer med parameterværdier er sammen med alle set-up data samlet på en diskette og kan rekvireres fra ADK.

I tabel 6 er endvidere opgivet det beregnede udbytte for afgrøder høstet i 1987 og den beregnede kvælstofudvaskning for perioden 1. april 1987 til 31. marts 1988. Nitrat-N-udvaskningsberegningerne er i fig. 7-10 vist for hver måned i samme periode.

Vurdering af det beregnede udbytte

De beregnede udbytter er, bortset fra roer, generelt væsentlig højere end gennemsnitsudbytterne, som er opgivet i bl.a. Håndbog for Plantedyrkning (Landbrugets Informationskontor 1990) og Håndbog for Driftsplanlægning (Landbrugets Informationskontor 1988). Det beregnede udbytte for de enkelte afgrøder udviser relativt små udsving. Først ved kvælstoftildelinger væsentligt under normværdien falder udbyttet. Som nævnt i indledningen skyldes dette, at model-

lens beregnede udbytte kun begrænses af vand og kvælstof, mens der i praksis i nogen grad kan kompenseres for bl.a. sygdomsangreb med højere kvælstoftilførsel.

Jordtype og udvaskning

For mange af forfrugt/afgrøde/gødningstildeling-kombinationerne er Nitrat-N-udvaskningen beregnet både for jordtype A og B. Jordtype A er sandet, mens jordtype B er mere leret især i laget under pløjelaget, se tabel 4 og 5. Ved sammenligning af udvaskningen fra beregningseksemplerne, hvor kun jordtypen varieres, ses at udvaskningen er større på den sandede jord end på den lerede. Procentvis er den største forskel i eksemplerne med byg efter byg gødet med handelsgødning. Eksemplerne er benævnt EX01N1-N2 og EX02N1-N2 i tabel 6. På jordtype B er udvaskningen kun cirka halvdelen af den på jordtype A. I de øvrige eksempler dvs. rug efter byg, græs efter byg, græs efter græs og byg efter roer, alle med varierende gødningspraksis, er udvaskningen mellem 11 og 26% mindre på den lerede jord end den sandede. En undtagelse er dog beregningseksemplet EX55N1, hvor udvaskningen på den lerede jord er større end på den sandede. Forklaringen kan være, at Nitrat-N-udvaskningen som følge af de store mængder husdyrgødning udbragt før forfrugten, har fundet sted på sandjorden inden 1. april 1987, mens den er noget forsinket på lerjorden.

Tabel 6. Oversigt over foretagne beregninger.

EKS.	FORF.	ORG	DATO	ORG	DATO	INO	DATO	AFG.	ORG	DATO	ORG	DATO	INO	DATO	UDBYT	NUDV	JT
EX01N1	BYG					125	15.4	BYG					125	15.4	6.1	30	A
N2	-					125	15.4	BYG					135	15.4	6.1	32	A
N3	-					125	15.4	BYG					100	15.4	5.9	25	A
EX02N1	BYG					125	15.4	BYG					125	15.4	6.1	16	B
N2	-					125	15.4	BYG					135	15.4	6.1	17	B
EX03N1	BYG					125	15.4	SRAP					180	15.4	3.3	47	A
N3	BYG					125	15.4	SRAP					164	15.4	3.3	39	A
EX05N1	BYG					125	15.4	SRAP	42	4.4			164	15.4	3.3	152	A
EX06N1	BYG					125	15.4	POT					120	15.4	14.2	79	A
N2	BYG					125	15.4	POT					150	15.4	15.6	93	A
EX07N1	BYG					125	15.4	POT	60	4.12			150	15.4	17.7	193	A
EX08N1	BYG					125	15.4	POT	60	4.4			150	15.4	17.7	191	A
EX09N1	BYG					125	15.4	POT	20	10.11			134	15.4	17.7	142	A
N2	BYG					125	15.4	POT					134	15.4	17.6	127	A
EX11N1	BYG					125	15.4	RUG					115	15.4	5.8	19	A
N2	-					125	15.4	RUG					134	15.4	6.2	18	A
N3	-					125	15.4	RUG					38	15.4	3.3	24	A
EX12N1	BYG					125	15.4	ROER	105	1.12	88	15.3	118	15.4	12.6	314	A
EX13N1	BYG					125	15.4	ROER	100	2.11	40	10.4	70	15.4	12.6	137	B
EX14N1	BYG					125	15.4	ROER	100	2.11	40	10.4	70	15.4	12.6	154	A
EX30N1	BYG	40	1.12			120	15.4	BYG	40	1.12			120	15.4	6.1	158	A
N2	-	40	1.12			80	15.4	BYG	40	1.12			80	15.4	6.1	146	A
EX31N1	BYG	80	10.3			125	15.4	BYG	80	10.3			125	15.4	6.1	197	A
N2	-	50	10.3					BYG	50	10.3			0		6.1	75	A
N3	-	80	10.3					BYG	80	10.3			0		6.1	89	A
EX35N1	BYG	80	10.3			125	15.4	RUG	40	5.11			100	15.4	6.2	65	A
N2	-	50	10.3					RUG	40	5.11			40	15.4	4.5	62	A
N3	-	80	10.3					RUG					100	15.4	6.4	50	A
EX36N1	BYG	80	10.3			125	15.4	RUG	40	5.11			100	15.4	6.4	56	B
N2	-	50	10.3					RUG	40	5.11			40	15.4	4.8	48	B
N3	-	80	10.3					RUG					100	15.4	6.4	39	B
EX40N1	BYG	28	5.4			100	15.4	GRÆS	60	15.7			270	15.4*	18.6	73	A
N2	-					75	15.4	GRÆS	30	15.7			200	15.4*	18.3	75	A
N3	-					50	15.4	GRÆS					200	15.4*	18.1	76	A
EX41N1	BYG	28	5.4			100	15.4	GRÆS	60	15.7			270	15.4*	18.4	60	B
N2	-					75	15.4	GRÆS	30	15.7			200	15.4*	18.0	67	B
N3	-					50	15.4	GRÆS					200	15.4*	17.9	67	B
EX45N1	GRÆS	30	15.3			360	15.4*	GRÆS	30	15.3			360	15.4*	20.1	53	A
N2	-					305	15.4*	GRÆS					305	15.4*	17.9	50	A
N3	-					205	15.4*	GRÆS					205	15.4*	18.2	50	A
EX46N1	GRÆS	30	15.3			360	15.4*	GRÆS	30	15.3			360	15.4*	20.3	44	B
N2	-					305	15.4*	GRÆS					305	15.4*	17.0	37	B
N3	-					205	15.4*	GRÆS					205	15.4*	18.1	41	B
EX50N1	GRÆS	60	15.7			270	15.4*	BYG					125	15.4	6.1	85	A
N2	-	30	15.7			200	15.4*	BYG					100	15.4	6.1	76	A
N3	-					200	15.4*	BYG					75	15.4	6.1	70	A
EX55N1	ROER	105	5.12	88	15.3	118	15.4	BYG	40	15.3			65	15.4	6.1	81	A
N2	-	100	5.12	40	15.3	70	15.4	BYG					140	15.4	6.1	73	A
N3	-	100	5.12	40	15.3			BYG					65	15.4	5.4	61	A
EX56N1	ROER	105	5.12	88	15.3	118	15.4	BYG	40	15.3			65	15.4	6.1	92	B
N2	-	100	5.12	40	15.3	70	15.4	BYG					140	15.4	6.1	60	B
N3	-	100	5.12	40	15.3			BYG					65	15.4	5.6	45	B
EX60N1	ROER	105	5.12	88	15.3	118	15.4	RAPS					180	15.4	3.3	107	A
N2	-	100	5.12	40	15.3	70	15.4	RAPS					140	15.4	3.3	75	A
N3	-	100	5.12	40	15.3			RAPS					100	15.4	3.3	62	A

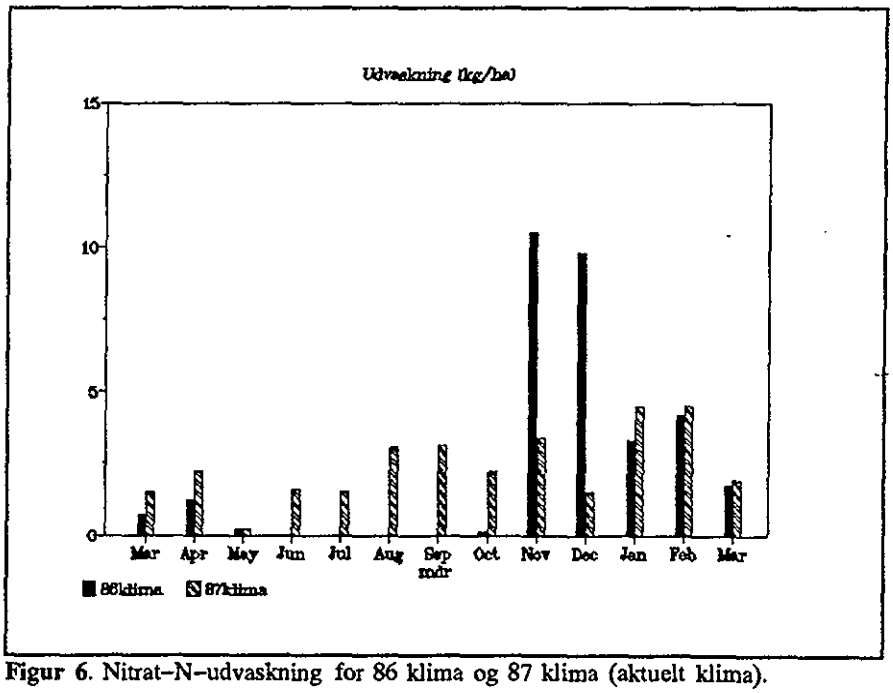
*): Kun første dato for de 2-3 foretagne gødningstildelinger, men totale mængde angivet

Forklaring til kolonnerne i tabel 6:

EKS.: Kodebetegnelse for beregningseksemplerne.
FORF.: forfrugt
ORG: tons husdyrgødning tilført pr. ha
INO: kg N/ha tilført med handelsgødning
DATO: gødningstidspunkt
AFG.: afgrøde (pot = kartofler)
UDBYT: beregnet primær udbytte i tons tørstof pr. ha
NUDV: beregnet kvælstofudvaskning, kg N/ha/år for perioden 1. april 1987 til 31. marts 1988
JT: jordtype (se fig. 3 og 4 og tabel 4 og 5).

Forskelligt klima

I fig. 6 er vist den beregnede kvælstofudvasknings afhængighed af klimaet. Kvælstofudvaskningen er beregnet for eksempel EXON1 dels med aktuelt klima og dels med klimadataene forskudt et år. Det kan ses af figuren, at klimaet kan betinge væsentligt forskellige udvaskningsforløb. I 1986 var der ingen gennemstrømning om sommeren og frem til oktober. I november startede gennemstrømningen for alvor og udvaskede samtidig en stor kvælstofpulje. I 1987 var nedbørsunderskuddet væsentlig mindre, og der var gennemstrømning og kvælstofudvaskning i alle månederne. Til gengæld var der ikke så voldsom en kvælstofudvaskning i efteråret som i 1986.

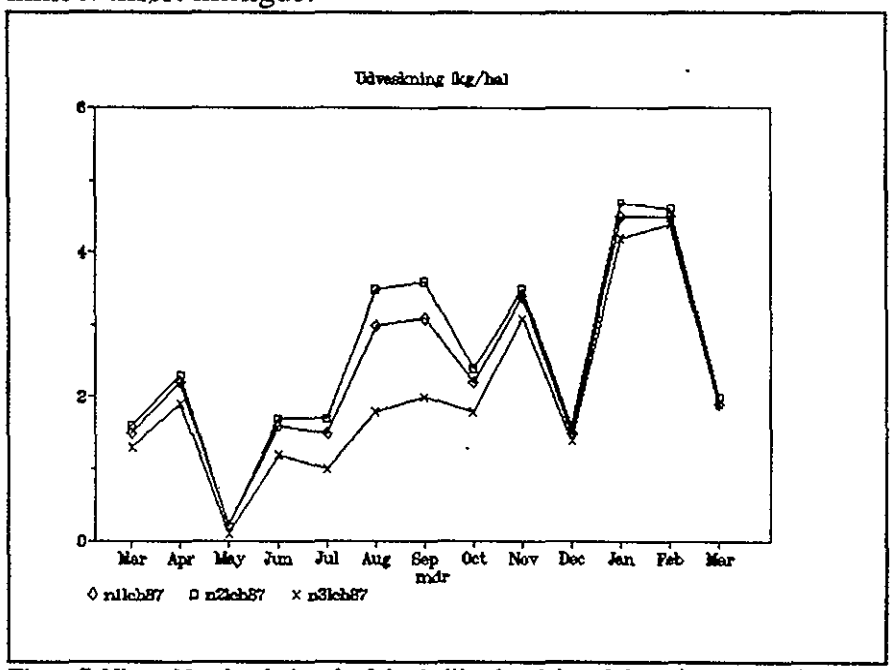


Figur 6. Nitrat-N-udvaskning for 86 klima og 87 klima (aktuelt klima).

Ren handelsgødning

Den beregnede kvælstofudvaskning fra byg efter byg ved forskellige mængder tilført handelsgødning og uden tilførsel af husdyrgødning er vist i fig. 7. Beregningerne er foretaget for eksemplerne EX01N1-N3, som er beskrevet i tabel 6. Det ses, at den beregnede kvælstofudvaskning følger samme variationsmønster gennem årets

måneder for de 3 eksempler, men niveauet er højest for marken med størst mængde tilført handelsgødning og mindst for marken med mindst tilført mængde.



Figur 7. Nitrat-N-udvaskning for 3 forskellige handelsgødningsniveauer for byg efter byg. Eksemplerne EX01N1 [125 kg N d. 15.4.87], EX01N2 [135 kg N] og EX01N3 [100 kg N].

Handels- og husdyrgødning

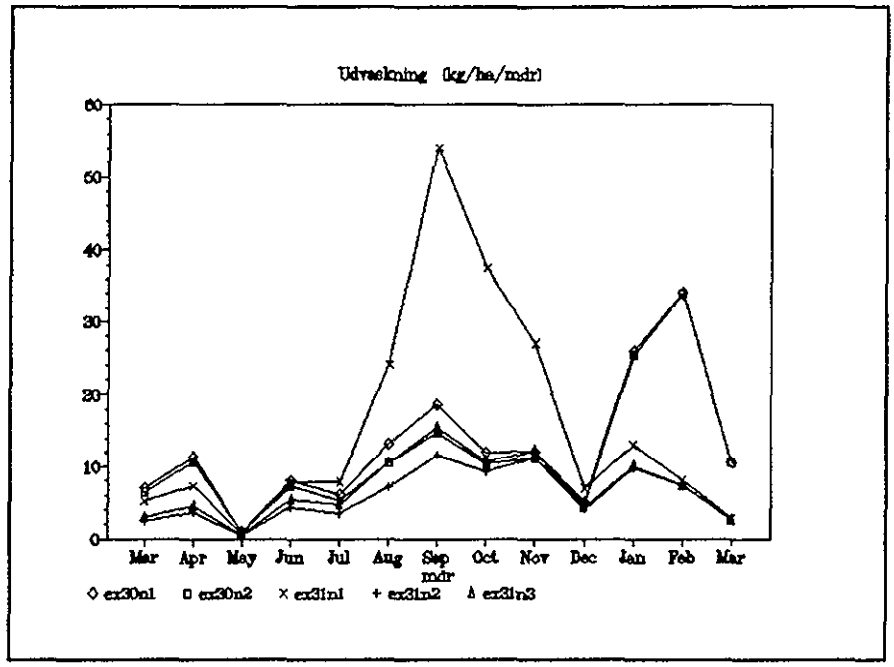
Den beregnede kvælstofudvaskning fra byg efter byg ved forskellige mængder tilført N, tilført både som handelsgødning og husdyrgødning, er vist i fig. 8. Beregningerne er foretaget for eksemplerne EX30N1-N2 og EX30N1-N3, som er beskrevet i tabel 6.

Efterårsudbringning af husdyrgødning

I eksemplerne EX30N1-N2 udbringes husdyrgødning d. 1. december 1986. Dette betyder, at udvaskningen fra disse eksempler ligger højere om foråret frem til maj end eksemplerne EX31N1-N3. De sidstnævnte eksempler får tildelt husdyrgødning d. 10. marts 1987, hvilket dog ikke giver udslag i større udvaskning frem til maj. I perioden fra juni til december har eksempel EX31N1 en meget stor udvaskning sammenlignet med de andre eksempler. Dette eksempel får også tilført væsentlig mere kvælstof end de øvrige. Den 1. december 1987 får eksemplerne EX30N1-N2 igen tilført husdyrgødning, hvilket giver sig udslag i en større udvaskning i de følgende måneder, end i de øvrige eksempler.

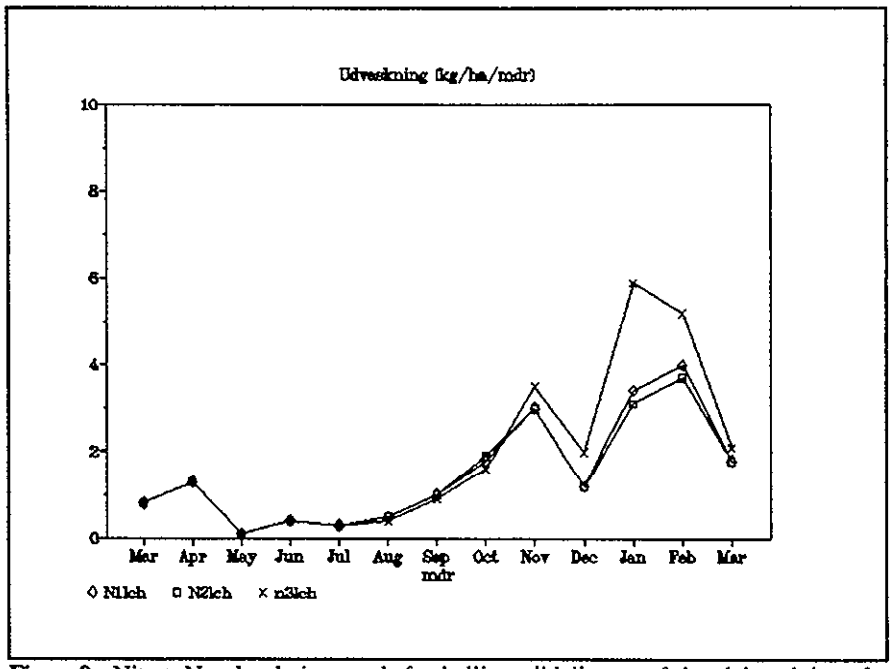
Vinterrug efter byg

Den beregnede Nitrat-N-udvaskning fra vinterrug efter byg ved forskellige handelsgødningsmængder og uden tilførsel af husdyrgødning er vist i fig. 9. Beregningerne er foretaget for eksemplerne EX11N1-N3, som er beskrevet i tabel 6. Udvaskningen er generelt relativ lav, og den er for de 3 tilfælde meget ens frem til oktober måned 1987. Herefter bliver udvaskningen noget højere for eksemplet med den mindste tilførte mængde N. En gennemgang af



Figur 8. Nitrat-N-udvaskning ved forskellige gødningstildelinger og udbringningstidspunkter for byg efter byg. For selve afgrøden er gødningstildelingen i eksemplerne EX30N1 [40 tons husdyrgødning d. 1.12.86 og 120 kg uorg. N d. 15.4.87], EX30N2 [40 tons husdyrgødning d. 1.12.86, 80 kg uorg. N d. 15.4.87], EX31N1 [80 tons husdyrgødning d. 10.3.87, 125 kg uorg. N d. 15.4.87], EX31N2 [50 tons husdyrgødning d. 10.3.87] og EX31N3 [80 tons husdyrgødning d. 10.3.87].

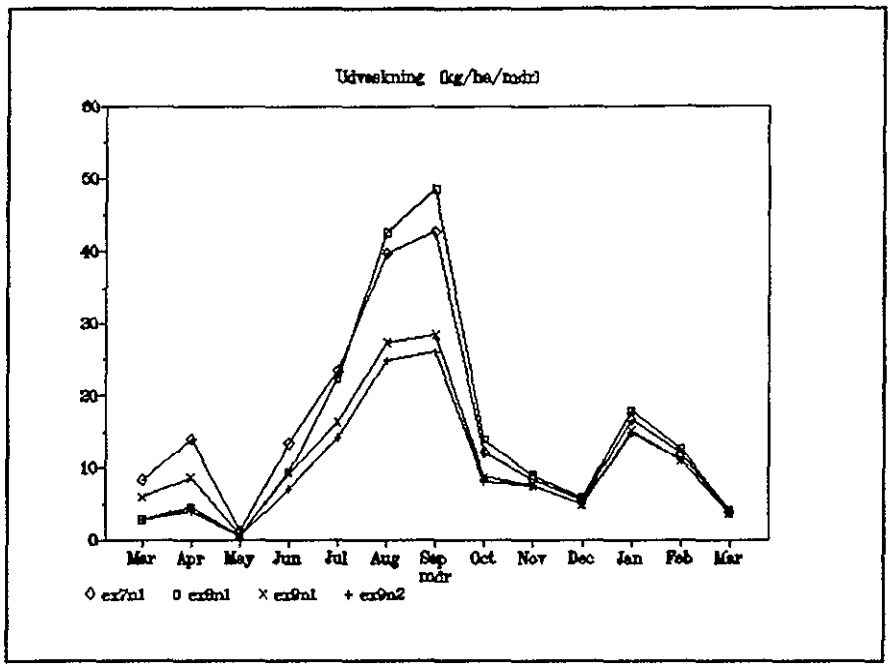
mellemregningerne viser, at afgrøden er så underforsynet med kvælstof, at modellen standser afgrødens kvælstofoptagelse før de velgødede afgrøders. Derved ophobes mineraliseret kvælstof i jorden, som så forlader rodzonen i november og månederne frem. Også for eksempel EX40N1-N3, som er græs efter byg, viser modelberegningen en større udvaskning med faldende kvælstoftilførsel.



Figur 9. Nitrat–N–udvaskning ved forskellige tildelinger af handelsgødning fra vinterrug efter byg. Eksemplerne er EX11N1 [115 kg uorg. N d. 15.4.87], EX11N2 [134 kg N] og EX11N3 [38 kg N].

Kartofler efter byg

Den beregnede udvaskning fra kartofler efter byg ved forskellige gødningstildelinger er vist i fig. 10. Udvaskningen er beregnet for eksemplerne EX07N1, EX08N1 og EX09N1–N2. Eksemplerne EX07N1 og EX08N1 har fået 60 tons husdyrgødning pr ha den 4. december (1986) i første eksempel og den 4. april (1987) i det andet. Disse eksempler har en højere udvaskning i sommer og efterårsmånederne, end de to øvrige eksempler, som kun har fået lidt eller ingen husdyrgødning. Eksempel EX09N1 har fået 20 tons husdyrgødning den 10. november, og EX09N2 har intet husdyrgødning fået. Derudover er der i hvert eksempel tilført enten 150 eller 134 kg N/ha med handelsgødning den 15. april. Effekten af husdyrgødningen ses som en lidt højere udvaskning i løbet af sommeren frem til september. Generelt ligger den beregnede udvaskning fra kartofler på et højt niveau sammenlignet med kornafgrøderne.



Figur 10. Nitrat-N-udvaskning ved forskellige gødningstildelinger fra kartofler efter byg. Eksemplerne er EX07N1 [kartofler: 60 tons husdyrgødning d. 4.12.86 og 150 kg uorg. d. 15.4.87], EX08N1 [60 tons husdyrgødning d. 4.4.87 og 150 kg uorg. N d. 15.4.87], EX09N1 [20 tons husdyrgødning d. 10.11.86 og 134 kg uorg. N d. 15.4.87] og EX09N2 [134 kg uorg. N d. 15.4.87].

6. KONKLUSION

Rodzonemodellen DAISY (Hansen et al., 1990b) skal simulere planteproduktion og kvælstofomsætning under danske forhold. Formålet var at udvikle en operationel markmodel til beregning af planteproduktion og kvælstofomsætning i rodzonen under forskellige driftsformer og under anvendelse af forskellige kulturtekniske foranstaltninger.

Det historiske forløb i projektfasen og revision af de aktuelle NPO-projekter 9.1 ("Produktions- samt udvaskningsberegninger for modeldrifter") og 1.6 ("Regional beregning af kvælstofudvaskning - Rabis bæk og Syv bæk") er nævnt i rapportens indledning.

Under de to NPO-projekter har ADK udviklet et større hjælpeprogrammel system til DAISY. F.eks. er sekvensen af inputspecifikationer til DAISY for et helt sædskifte relativt kompleks, og software er udviklet til interaktivt at generere disse inputdata. Ved eksekvering af DAISY dannes store mængder outputdata, og repræsentations og diagnostisk software er udviklet til umiddelbart at tolke disse data.

De systematiske beregninger i NPO-projekt 9.1 tillod at verificere DAISY for et bredt spektrum af sædskifter. Disse er valgt, så de er repræsentative for planteavls-, svineavls- og kvægavlsbrug og for forskellige jordtyper. En række modelestimeringsfejl/kodningsfejl blev konstateret under disse beregninger og rettet i samarbejde med Institut for Jordbrugsvidenskab, Sektion for Kulturteknik og Planteernæring, KVL.

I hver af de to værkstedsområder Rabis bæk og Syv bæk har ADK foretaget 10 jordprofilundersøgelser. Rabis bæk oplandet kan deles i tre regioner på baggrund af ADK's jordklassificeringskort og DGU's geologiske jordartskort. Idet der ses bort fra det mindre areal med lavbundsjordene i dalbunden blev jordbundsforholdene karakteriseret ved to jordtyper.

Med den anvendte modelversion [15.9.90] af DAISY er der udført en række beregninger af kvælstofudvaskningen fra NPO-værkstedsområdet Rabis bæk. Dette er blevet udført for at implementere og teste modellen i et større databasesystem, og for at illustrere adfærdsbetingede og naturgivne forholds indflydelse på kvælstofudvaskningen. Da DAISY på nuværende tidspunkt endnu ikke er tilstrækkelig valideret, er de fremkomne resultater behæftet med en vis usikkerhed.

På basis af modelkørslerne kan konkluderes, at kvælstofudvaskningen er stærkt klimapåvirket. Udvaskningen stiger med stigende gødningsanvendelse, både med hensyn til handelsgødning og husdyrgødning; dog kan stærkt undergødede afgrøder give anledning til en mindre stigning i udvaskningen.

I de fleste beregningseksempler i Rabis bæk området er udvaskningen 11–26 % lavere på den lerblandede sandjord end på sandjorden. I de aktuelle beregningseksempler fås de største mængder udvasket kvælstof (137–314 kg N/ha/år) i tilfælde med store mængder tilført husdyrgødning i forbindelse med afgrøderne byg, roer og kartofler. Husdyrgødning udbragt om efteråret på mark uden afgrøder har i de aktuelle eksempler givet anledning til øget kvælstofudvaskning umiddelbart efter.

7. LITTERATUR

Aslyng, H.C. and S.Hansen 1982. Water balance and crop production simulation. Model WATCROS for local and regional application. The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen 1982.

Aslyng, H.C. and S.Hansen 1985. Radiation, water and nitrogen balance in crop Production. Field experiments and simulation models WATCROS and NITCROS. The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen 1985.

ATV 1990. Vandmiljøhandlingsplanens tilblivelse og iværksættelse. Akademiet for de tekniske videnskaber.

DGU 1978. Foreløbige geologiske kort (1:25000) over Danmark. Ed. H.Sørensen og E.Heller. Danmarks Geologiske Undersøgelse. Serie A, Nr. 3.

Hansen, J.F., J.E.Olesen, I.Munk, U.M.Henius, J.J.Høy, S.Rude, M.Steffensen, T.Huld, F.Guul-Simonsen, A.Danfær, S.Boisen og S.A.Mikkelsen 1990a. Kvælstof i Husdyrgødning. Statusredegørelse og systemanalyse vedrørende kvælstofudnyttelsen. Statens Planteavlsforsøg. Beretning (in press).

Hansen, S. and H.C.Aslyng 1984. Nitrogen
Balance in Crop Production. Simulation model NITCROS. The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen 1984.

Hansen, S., H.E.Jensen, N.E.Nielsen, H.Svendsen 1990b. DAISY. A soil plant system model. Danish simulation model for transformation and transport of energy and matter in the soil plant atmosphere system. NPO-forskning fra Miljøstyrelsen, nr. A10.

Jensen, K.H. 1983. Simulation of water flow in the unsaturated zone including the root zone, Ph.D.Thesis, ISVA Series Paper 33, DTH.

Jensen, N.H. & H.B.Madsen 1988. Jordprofilundersøgelser.
Ugeskrift for Jordbrug 1988, nr.25.

Jensen, S.E. 1989. Institut for Kulturteknik og Planteernæring, KVL. Intern kommunikation.

Landbrugets Informationskontor 1988. Håndbog for driftsplanlægning 1988-89.

Landbrugets Informationskontor 1990. Håndbog for plantedyrkning 1990.

Madsen, H.B. & N.H.Jensen 1985. Jordprofilundersøgelsen.
Landbrugsministeriet, Arealdatakontoret. Vejle.

Madsen, H.B. & N.H.Jensen 1988. Vejledning til beskrivelse af jordbundsprofiler. Landbrugsministeriet, Arealdatakontoret. Vejle.

Mathiesen, F.D. & A.H.Nørr 1976. Teknisk redegørelse, den danske jordklassificering. Landbrugsministeriet, København.

Olesen, J.E. 1989. Statens Planteavlsforsøg, Afd. for Jordbrugs-meteorologi. Intern kommunikation.

Olesen, S.E., B.Hansen 1990. Det Danske Hedeselskab. Intern kommunikation.

Sommer, S.G. & B.T.Christensen 1989. Fordampning af ammoniak fra svinegylle udbragt på jordoverfladen. Tidsskrift for Planteavl 93. PP 307-321.

de Vries, D.A., N.H.Afgan 1975. Heat and mass transfer in the biosphere, Scripta Book Company.

ECK / BINDOMATIC 01 77 06 77