

# Kan utanlandske modellar simulere erosjon og stofftap frå jordbruksareal i Norge?

Av Helge Lundekvam

Helge Lundekvam er amanuensis ved Institutt for hydroteknikk Norges landbrukshøgskole.

## INNLEIING

Det er kjent at avrenning frå jordbruksareal kan medføre tap av jord og næringsstoff og sekundært til eutrofiering i vassdrag. Det er difor stor interesse for å kunna kvantifisere tapa og eutrofieringsverknaden i ulike nedbørfelt. Like eins er det viktig å kunne seie noko om årsakene til stofftapa og kva som kan gjerast for å redusere dei. Målingar viser at stofftapa kan variere mykje mellom landsdelar, mellom felt innan landsdelar og over tid. Difor er den gamle metoden med faste arealkoeffisientar ikkje god nok.

I utlandet, særleg USA, er utført omfattande forskning for å klårlegge verknaden av årsaksfaktorar på avrenning, erosjon og stofftap. Samanhengane er formulerte i eit aukande tal matematiske modellar.

Mellom anna fylgjande spørsmål er avgjeraende for bruken av slike modellar:

- 1) Kor mykje inngangsdata krevst og kan desse skaffast?
- 2) Kor nøyaktige er modellane og passar dei for Norge?
- 3) Er modellane brukarvennlege og får brukaren svar på spørsmåla sine?
- 4) Kan opplysningar om stofftap skaffast på andre måtar?

Som medlem av ei referansegruppe for eit prosjekt ved Senter for industriforskning (SI) utført for Institutt for geoessurs- og forurensningsforskning (Gefo) har forfatteren hatt høve til å fylgje testing av modellane CREAMS (Seip 1985) og GAMES (Sannes og Seip 1985) i Årungenfeltet i Ås.

## Opplysningar om modellane CREAMS og GAMES.

CREAMS er som fleire andre tilsvarende modellar delt i ein hydrologidel, ein erosjonsdel og ein kjemisk del. Yteavrenning, perkolasjon, forundsting, erosjon, P- og N-tap vert simulert i absolutte tal. Også tap av plantevernmidlar kan simulera. Resultata frå hydrologisk del har direkte verknad på simulert erosjon og tap av næringsstoff. Erosjonsdelen verkar og på kjemisk del.

Feil på eit trinn forplantar seg såleis vidare og vert forsterka på seinare trinn. Dette er vanleg i slike modellar (Novotny and Chesters 1981). Desse forfattarane hevdar og at medan avrenninga i små felt kan simulera relativt nøyaktig, så er det ofte svært store feil på simulerte stofftap i store felt.

Modellen er logisk oppbygd og baserer seg på fysiske samanhengar sjølv om fleire av desse er sterkt forenkla og usikre. Data-

kravet er ikkje større enn det må vere for at modellen skal kunne produsere rimelege resultat. Likevel er datakravet så omfattande at det i mange høve vil vere uråd å skaffe alle. Det må då setjast inn data frå utlandet eller frå andre felt etter beste skjøen. Resultata vert fylgjeleg prega av skjøen og må vurderast kritisk. Ein har ingen garanti for at dei simulerte resultatata er berre enn stofftapsverdiar som er framkomne etter andre skjønnsbaserte metodar eller målte på enkle måtar.

Modellen kan berre handtere eit relativt homogent felt i gongen. I store, samansette nedbørfelt måtte modellen køyrast separat for kvart delfelt, som ville verte eit omfattande arbeid. Sommert transport frå delfelt vil til vanleg ikkje stemme med totaltransport i heile feltet på grunn av avleirningar, erosjon, biologiske- og kjemiske reaksjonar i vassvegane. Her ville det vere trong for ein ekstra modell.

Det krevst betydeleg fagleg ekspertise for å bruke modellen. Det gjeld datateknisk og særleg vedrørande innsamling og vurdering av felldata (klima, jord, terreng og drift).

Det synest difor ikkje som modellen er noko enkelt verktøy som forvaltninga kan bruke dersom ein ikkje samstundes har tilgang til dei data og den ekspertise som krevst.

Modellen GAMES er langt enklare oppbygd med mindre krav til data enn CREAMS. GAMES kan fordele total, målt partikkeltransport i eit stort felt på eit vilkårleg tal homogene delfelt (celler) der rutinga av vatnet frå kvart delfelt eventuelt via andre delfelt og sidebekker fram til hovudbekk er éintydig fastlagt. Modellen krev altså at total partikkeltransport ut frå heile feltet er kjend (målt). Denne kan ikkje simulast. Modellen handsamar

erosjon og fosfortap ikkje tap av andre næringsstoff.

Fordelingskriteria er potensiell erosjon i kvart enkelt delfelt basert på den universelle jordtapslikninga (Wischmeier and Smith 1965), og den tida vatnet brukar frå vedkomande delfelt fram til utlaupet, noko som avheng av avstand, fall, ruheit og hydrologisk koeffisient.

Det er verdfullt at modellen kan føreta denne fordelinga på celler. Det viser kva område i feltet som er sterkast utsett for erosjon og dermed kvar eventuelle tiltak helst må setjast inn.

Dersom totalerosjonen i feltet er ukjend, kan ein likevel få ei relativ fordeling av partikkeltransporten på enkeltceller ved å setje inn eit tal for totaltransport. Det er og verdfullt.

Det krevst eit relativt stort kartarbeid og feltarbeid for å kome fram til ei god oppdeling i enkeltceller.

Vedrørande koeffisientane i jordstapslikninga kan terrengfaktoren målast frå kart, medan dei andre faktorane vil vere meir skjønnsprega. Dette gjeld og CREAMS.

### **Gjeld desse modellane i Norge?**

Sjølv om ein i prinsippet kan rekne med at dei same faktorane gjer seg gjeldande i ulike land når det gjeld avrenning, erosjon og stofftap, så kan vektlegginga av faktorar og typen av samanhengar likevel variere.

I modellane går inn mange empirisk baserte samanhengar som gjeld i USA. Det er difor grunn til skepsis når modellane skal nyttast i Norge. Ikkje minst gjeld dette den hydrologiske delen i CREAMS der yteavrenning og sigevatn vert modellert. Modellen legg stor vekt på såkalla

Hortonsk yteavrenning (nedbørintensiteten større enn infiltrasjonskapasiteten), medan snøsmeltinga vert enkelt modellert.

Målingar i ein del norske jordbruksfelt (Lundekvam 1986) tyder på at 80—95% av yteavrenninga normalt har samanheng med frosa jord og snøsmelting og berre ein liten del renn av om sommaren. Yteavrenning om sommaren kan vere viktig på grøftetregande jord som er grøfta eller dårleg grøfta, på jord utan plantevekst, og på nyleg bakkeplanert leir- og/eller siltrik jord. For liten dimensjon på avlaupsleidningar frå grøftesystema har ein og påvist skjev yteavrenning (Lundekvam 1986).

Dette viser for det fyrste at norske modellar må leggje stor vekt på å modellere snøsmeltinga rett, for det andre må dreneringsintensitet og avlauskapasitet trekkjast inn i tillegg til opplysningar om infiltrasjonsevne og permeabilitet. Bakkeplanert jord må handsamast særskilt.

CREAMS-modellen tek ikkje omsyn til grunnvassmagasinet og avrenning frå dette. Både sigevatn og yteavrenning er sett lik null når månadsmedeltemperaturen er mindre enn null grader. For å betre modellen her, må opplysningar om døgnmedeltemperatur og temperaturamplitude inn i modellen, like eins opplysningar om tele og nedbørform (snø, regn, sludd). Det siste er og naudsynt for å vindkorrigere målt nedbør.

Å skaffa korrekte data over arealnedbør er vanskeleg av di representative målingar ofta vantar. Punktmålingane er til vanleg feilaktige (store vindfeil t.d.) og opplysningar om intensitet og varigheit vantar ofte. Reell fordunsting er og vanskeleg å modellere. Vidare er gode opplysningar om infiltrasjonsevne, permeabilitet, magasineringsevne i jord etc. svært vanskeleg eller uråd å skaffe. Det er kjent at permea-

biliteten og infiltrasjonsevna varierer sterkt over korte avstandar og også over tid.

CREAMS-modellen går å køyre berre med bruk av døgnnedbørdata og utan direkte utrekning av infiltrasjon og lagring av vatn på yta. Ein nyttar seg då av kurvenummermetoden (kalibrert i USA) som går ut på at for kvar hydrologiske jordartsgruppe, metningstilstanden i jorda, plantedekke etc. eksisterer det ein samanheng mellom målt nedbør og overskotsnedbør eller yteavrenning.

Ettersom intensitet — varigheit av døgnnedbøren varierer mykje må desse estimata verte nokså grove. Det er og all grunn til å tru at intensitet-varigheitsfordelinga av nedbør varierer mellom årstider og er ulik for USA og Norge.

Maksimal avrenningsintensitet pr. døgn vert estimert ved hjelp av ein empirisk funksjon funnen i USA basert på feltstorleik, fall, form og medel døgnavrenning. Dette er ein svært grov metode også med tanke på estimert erosjon som er avhengig av maksimalavrenninga. Det går fram at ein ikkje kan vente særleg gode estimat av yteavrenning under norske tilhøve utan at modellen vert tilpassa.

Simuleringane i Årungenfeltet, Storgrava, viste for høge verde for yteavrenninga og ein urimeleg stor del av denne avrenninga førekom utanom snøsmeltingsperioden.

Vedrørende erosjon er den såkalla universelle jordtapslikninga (Wischmeier og Smith 1965) sentral både for CREAMS og GAMES og fleire andre modellar. Likninga har fylgjande form:

$$\text{Jordtap (tonn/ha)} = R \times K \times LS \times C \times P, \text{ der}$$

R er regnenergi og avlaupsfaktor  
(tonn/ha)

K er jordartsfaktor (relativ)

- LS er faktor for hellingsgrad og hellingsretning (relativ)
- C er faktor for plantedekke og vektskifte (relativ)
- P er faktor for erosjonskontroll (relativ).

R-faktoren saman med yteavrenninga avgjer potensiell erosjon i absolutte tal. Dei andre faktoraene er relative i høve til standardvilkår. T.d. er C lik 1 for brakka jord med jordarbeiding langs fallet, og LS er lik 1 for hellingslengder 22 m og 9% fall. Det går direkte fram at dei estimerte jortapa vil vere svært avhengige av at ovannemnde faktorar og yteavrenninga er nokonlunde rett bestemte.

Ein kan konstatere at lite er gjort for å bestemme desse faktoraene for norske tilhøve og vi har få mållingar av yteavrenning. Granskingar i Norge tyder på at R-faktoraene her i landet ligg langt lågare enn i USA (Lundekvam 1986). Det har truleg samanheng med lågare frekvens av høge regnintensitetar i Norge enn USA, og at ein stor del av yteavrenninga har samanheng med snøsmelting i Norge.

Simuleringa for Storgrava viste at modellen (CREAMS) i utgangspunktet gav 5 goner for høge resultat i høve til målt. Dette vart justert ved å multiplisere med 0,2. Det vart nytta amerikanske R-faktorar i dette høvet, som kunne vere ein del av årsaka til det dårlege samsvaret.

Konklusjonen er at ein så langt ikkje kan stole på det simulerte nivået for jordtap i felt utan mållingar. Det er naudsynleg med meir forskning i Norge for å finne data for yteavrenning, R-faktor, K-faktor og C-faktor. LS-faktoren bør og kontrollrast.

Det må nemnast at i samband med tele kan det førekome situasjonar som svært vanskeleg kan simulrast utan detaljerte

teledata. T.d. kan ei tynn, men tett teleskorpe vere nok til å få i stand stor yteavrenning på slett overflate t.d. eng og beite, medan ein pløygd åker ikkje gjev yteavrenning (Lundekvam 1986). Permeabiliteten er og ofte liten på nysådd åker.

Erosjonsmotstanden og permeabiliteten varierer også over året (Lundekvam 1985). Det er t.d. påvist at så lenge snødekket er djupt nok, er arealerosjonen liten trass i yteavrenning, medan erosjonen kan vere svært stor på slutten av snøsmeltinga (Lundekvam 1986). Då er jorda sterkt erosjonsutsett og ofte vil sjølv små ekstra nedbørmengder auke yteavrenninga og erosjonen sterkt, medan tilsvarende nedbør i vekstsesongen ikkje ville medføre erosjon i det heile. Jorda er og sterkt erosjonsutsett utan plantedekke, særleg etter finarbeiding og pakking (t.d. harving, såing, tromling).

Ein kan få betydeleg erosjon i meir punktforma område som bratte skrentar, kanalsider og botnar, grøfteutlaup, ved grøftekoplingar etc. CREAMS kan handtere kanalerosjon, men fleire tilfelle er så spesielle at modellen iknapt kan brukast. Erosjon i grøftesystem og bypass-strøyming (vatnet går i større sprekkssystem utan jordfiltrering til grøftene) vert ikkje handtert av CREAMS. Det er neppe tvil om at transport gjennom grøftesystema kan vere viktig i vekstsesongen om nedbøren er stor, medan yteavrenninga då er liten eller manglande (Lundekvam 1986).

Ein må konkludere med at modellane CREAMS og GAMES ikkje utan vidare kan brukast i Norge. Men det er mogeleg å omarbeide dei for betre å passe norske tilhøve. Likevel er det så mange usikre faktorar knytt til slike modellar at resultatata må sjåast på som grove anslag som ofte vil vere mindre nøyaktige enn enkle mållingar.

## **Bruk av modellar til vurdering av driftsformer og tiltak.**

Den relative verknaden av ein del tiltak som t.d. endring av hellingslengder, endra dyrkingsteknikk, erosjonskontrollerande tiltak kan ein få ved å nytte den universelle jordtapslikninga direkte så framfaktorene for aktuelle tiltak er kjende. Ettersom denne likninga går inn i modellane vil bruk av desse truleg ikkje gje særleg betre resultat.

Nokre tiltak kan simulert ved å endre koeffisientar i CREAMS-modellen som tiltaka verkar på, så som infiltrasjonskapasitet, ruheit, erosjonsmotstand, lagringsevne for vatn, porevolum, ekstraksjonskoeffisientar for næringsstoff, fordeling av næring i jordsmonnet etc. Dette føreset at ein kjenner verknaden av tiltaka på desse koeffisientane. Erosjonsforskinga i Norge har hittil vore mest konsentrert om direkte å måle verknaden av tiltak på jordtap og P-tap. Ein har lite målingar av verknaden på dei jordfysiske parametrane som går inn i t.d. CREAMS. Resultat frå utlandet og skjøn må difor nyttast. Resultata vert då skjønsprega og kan ikkje tilleggast stor vekt. Det er likevel verdfullt å kunne sjonglere med jordfysiske storleikar. Ein kan i alle høve få ein idé om kva verknad eit tiltak kan ha om ein har noko kjennskap til den jordfysiske og jordkjemiske verknaden av tiltaket.

## **Korleis kan erosjon og stofftap kvantifiserast?**

Som nemt finst det utanlandske modellar for dette, men førebels er dei for dårleg testa og har for store datakrav til å gje gode, absolutte esitmat under norske tilhøve.

Det er viktig kva estimata skal brukast til: Er ein interessert i å finne eutroferings-

graden i eit vassdrag må dei absolutte stoffmengdene fastsetjast relativt nøyaktig. Om ein derimot er interessert i ei samanlikning av felt på ein relativ skala er det absolutte nivået mindre viktig og då kan bruk av modellane ha meir for seg.

Ein sær enkel måte til vurdering av jordtap vil vere å bruke den universelle jordtapslikninga direkte innan eit større felt. Ein kan då setje R-faktoren tilnærma konstant. For delfelta kan hellingsfaktoren fastsetjast frå kart eller feltmåling, jordfaktoren frå opplysningar om jordart og plantefaktoren ut frå opplysningar om vekstslag på dei einskilte gardsbruk. I tillegg kan skaffast opplysningar om planeringstiltak, grøfing, kanalisering, handtering av ytevatt og kvaliteten på desse arbeida. Ut frå desse opplysningane kan ein nokså raskt lage oversynskart over relativ erosjonsfare innan eit nedbørfelt. Her kan òg modellen GAMES nyttast. Dette kan vere godt nok grunnlag til å avgjere kvar tiltak bør setjast inn.

Er ein interessert i absolutte tal, er målingar best, men tidkrevande og dyrt.

Målingar frå andre felt med nokolunde tilsvarende jordart, drift og topografi kan brukast, men ein må korrigere for vassføring. I staden for faste arealkoeffisientar er det såleis betre å bruke medelkonsentrasjonar og multiplisere med målt eller estimert vassføring.

Dersom feltet som skal utreknast skil seg frå feltet med målingar i ein eller fleire faktorar som går inn i den universelle jordtapslikninga, kan utrekninga føregå ved å bestemme faktorene i kvart av felta.

Døme: I eit felt er medel partikkelkonsentrasjon målt til 0,1 g/l og hellingsfaktoren er 1,5. I eit anna felt er avrenninga målt til 500 mm/år og hellingsfaktoren er 2,0. Felta er elles nokså like.

Utrekna erosjon i feltet utan konsentrasjonsmåling vert då:

$0,1 \text{ g/l} \times 5.000.000 \text{ l/ha/år} \times 2,0/1,5):$   
 $670 \text{ kg/ha/år}.$

Tilsvarande kan gjerast for andre faktorar.

Ein bør som utrekningsgrunnlag bruke felt som ikkje skil seg urimeleg mykje frå det aktuelle feltet. Felt frå leirjordsområde i Akershus/Østfold bør ikkje brukast som utrekningsgrunnlag for morenefelt på Hedmark t.d. Grasfelt kan ikkje utreknast frå åkerfelt etc.

Ein slik framgangsmåte kan truleg gje brukbare resultat i område der målingar i felt med representativ drift og jordtypar finst. Dette er langt på veg tilfelle i Akershus og Østfold med tilgrensande område. Ein del målingar finst og frå Jæren og Trøndelag og Telemark.

I område der relevante måleresultat vantar bør måling både av vassføring og stofftransport utførast. Det er då viktig at prøvetakinga er representativ og rasjonell for å få gode resultat og reduserte kostnader. Målefelta bør ikkje vere for små for å unngå raske konsentrasjonsvariasjonar.

Store felt er oftast uhomogene, men ei relativ fordeling av erosjonen på delfelt kan som før nemt gjerast ved hjelp av jordtapslikninga og/eller GAMES-modellen. Ved fordeling av fosfor- og N-tilførsler må m.a. takast omsyn til gjødsling og vekstslag i delfelta.

### Samandrag.

Det finst mange utanlandske modellar, mellom desse CREAMS, som kan simulere avrenning, erosjon og stofftransport. CREAMS i si noverande form er ikkje godt nok tilpassa eller kalibert for norske

tilhøve. Det gjeld særleg snøsmelting og erosjon i den samanheng, men også yteavrenning og erosjon i snøfri periode. Det er mogeleg å omarbeide CREAMS for norske tilhøve.

Det krevst mykje data for å køyre modellen, og mange av desse data kan vanskeleg målast eller skaffast, og skjøn må nyttast. Det krevst i alle høve ekspertise, tid og pengar for å skaffe og vurdere slike data, slik at modellen ikkje er noko enkelt verktøy til framskaffing av verdier for erosjon og stofftap.

Dei simulerte resultatata vil vere skjønsprega og usikre og dei absolutte verdiane treng ikkje vere betre enn data framkomne etter enklare metodar. Modellen kan brukast i nokon mon til å simulere verknaden av tiltak. Det er då ein føresetnad at verknaden av tiltaka på jordfysiske storleikar og koeffisientar i modellen er kjend. Dette er oftast ikkje tilfelle i Norge.

Modellen GAMES kan ikkje simulere erosjon i absolutte tal, men kan fordele målt erosjon i eit stort felt på delfelt. Fordelinga føregår i hovudsak ved å bruke den universelle jordtapslikninga på kvart av delfelta. Denne likninga går og inn i CREAMS og dei fleste andre amerikanske erosjonsmodellane.

Datakravet til GAMES er lite samanlikna med CREAMS, men det krevst likevel eit stort kartarbeid og feltarbeid for å kome fram til ei god feltinndeling. Dette arbeidet vil i alle høve vere naudsynleg for å skaffe seg oversyn over erosjonsproblema.

Det synest som bruk av jordtapslikninga direkte eller bruk av GAMES kan gje relative tal for erosjon i ulike felt på ein relativt rask og enkel måte. Ei slik fordeling er nyttig og viser kvar mottiltak bør setjast inn. Men også her krevst eks-

pertise og arbeid for å fastsetje ledda i jordtapslikninga.

For å finne erosjon og stofftap i absolutte tal, er det framleis aktuelt å nytte dei måleresultat som finst, korrigert for avrenning og faktorar i jordtapslikninga. Det er vidare klart at det framleis er trong for målingar i område der representative tal vantar. Det er for usikkert berre å basere seg på modellar.

Det må gjerast meir i Norge for å skaffa data for yteavrenning, grøfteavrenning, jordfysiske storleikar, regnenergi og å kalibrere jordtapslikninga.

Det vil medføre betre forståing av kvar problema ligg vedrørande erosjon og stofftap i Norge. Då kan også modellane betre tilpassast og få større nytteverdi.

### LITTERATUR

- Lundekvam, Helge (1985). Erosjon, hydrokjemiske og hydrologiske tilhøve i Bjørnebekkfeltet, Ås, Akershus. Rapport 2/85 frå Institutt for hydroteknikk, NLH.
- Lundekvam, Helge (1986). Vassureining frå jordbruksareal. Sluttrapport frå NLVF-prosjekt. Skriven, men ikkje publisert enno.
- Novotny, Vladimir and Chestert, Gordon (1981). Handbook of non-point pollution. Sources and management. Van Nostrand Reinhold Company. ISBN 0-442-22563-6.
- Sannes, Pål og Seip, Knut L. (1985). Avrenning fra landbruket — 2. En matematisk modell for avrenning frå Årungen nedbørfelt. Rapport nr. 840709-2 frå SI.
- Seip, Knut L. (1985). Avrenning fra landbruket — 1. En matematisk modell for avrenning fra Årungen nedbørfelt. Rapport nr. 840709-1 frå SI. ISBN 82-7267-819-5.
- Wischmeier, W. M. and Smith, D. D. (1965). Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. USDA Agricultural Handbook No. 282, Washington D.C.