



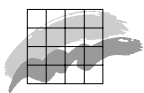
Miljø- og Energiministeriet  
Danmarks Miljøundersøgelser

NOVA 2003

# Oplandsanalyse af vandløbs- og søoplande 1998-2003

Vandløb og søer

*Teknisk anvisning fra DMU, nr. 15  
2. udgave*



Miljø- og Energiministeriet  
Danmarks Miljøundersøgelser

---

NOVA 2003

# Oplandsanalyse af vandløbs- og søoplände 1998-2003

Vandløb og søer

*Teknisk anvisning fra DMU, nr. 15  
2. udgave, 2000*

*Brian Kronvang*<sup>1</sup>

*Jens Peder Jensen*<sup>2</sup>

*Morten Lauge Pedersen*<sup>1</sup>

*Søren E. Larsen*<sup>1</sup>

*Anker R. Laubel*<sup>1</sup>

*Dirk-Ingemar Müller-Wohlfeil*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Afdeling for Vandløbsøkologi

<sup>2</sup> Afdeling for Sø- og Fjordøkologi

Danmarks Miljøundersøgelser

*Lisbeth Wiggers*

Århus Amt

*Honey Kronquist*

Vestsjælland Amt

*Henrik Tornbjerg*

Fyns Amt

*Ole Ringsborg*

Storstrøms Amt

## Datablad

Titel:	Oplandsanalyse af vandløbs- og søoplande 1998-2003.
Undertitel:	Vandløb og søer. NOVA 2003
Forfattere:	B. Kronvang <sup>1</sup> , J.P. Jensen <sup>2</sup> , M.L. Pedersen <sup>1</sup> , S.E. Larsen <sup>1</sup> , A.R. Laubel <sup>1</sup> , D.-I. Müller-Wohlfeil <sup>2</sup> , L. Wiggers <sup>3</sup> , H. Kronquist <sup>4</sup> , H. Tornbjerg <sup>5</sup> & O. Ringsborg <sup>6</sup>
	<sup>1</sup> Afdeling for Vandløbsøkologi <sup>2</sup> Afdeling for Sø- og Fjordøkologi <sup>3</sup> Århus Amt <sup>4</sup> Vestsjællands Amt <sup>5</sup> Fyns Amt <sup>6</sup> Storstrøms Amt
Serietitel og nummer: Udgave:	Teknisk anvisning fra DMU nr. 15. 2. udg. oktober 2000
Udgiver:	Miljø- og Energiministeriet Danmarks Miljøundersøgelser ©
URL:	<a href="http://www.dmu.dk">http://www.dmu.dk</a>
Udgivelsesår:	Oktober 2000
Tegninger: ETB:	Kathe Møgelvang & Juana Jacobsen Hanne Kjellerup Hansen
Bedes citeret:	Kronvang, B., Jensen, J.P., Pedersen, M.L., Larsen, S.E., Laubel, A.R., Müller-Wohlfeil, D.-I., Wiggers, L., Kronquist, H., Tornbjerg, H. & Ringsborg, O. (2000): Oplandsanalyse af vandløbs- og søoplande 1998-2003. Vandløb og søer. NOVA 2003. 2. udg. Danmarks Miljøundersøgelser. Teknisk anvisning fra DMU nr. 15. <a href="http://tekniske_anvisninger.dmu.dk">http://tekniske_anvisninger.dmu.dk</a> Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.
ISBN:	87-7772-571-9
ISSN (elektronisk):	1399-9176
Sidetæl:	91
Internet:	Rapporten findes kun som PDF-fil på Danmarks Miljøundersøgelses hjemmeside.

# Indhold

## Forord 5

### 1 Formål 7

### 2 Baggrund 9

### 3 Indsamling og operationalisering af geografisk relaterede data 11

- 3.1 Indledning 11
- 3.2 Oplandsafgrænsning 11
- 3.3 Vandløb, grøfter og søer 12
- 3.4 Drænsystemer 12
- 3.5 Jordbundsforhold 12
- 3.6 Geologiske forhold 13
- 3.7 Lavbundsjord 14
- 3.8 Topografiske forhold 14
- 3.9 Arealanvendelse 14
- 3.10 Bedrifters jordtilliggende 15
- 3.11 Okkerpotentielle jorde 15
- 3.12 Spredt bebyggelse 15
- 3.13 Punktkilder 16
- 3.14 Landbrugspraksis på bedriftsniveau 16
- 3.15 Husdyrhold på bedriftsniveau 17
- 3.16 Oversigt over krav til dataindsamling for vandløb- og søoplan-  
de 17

### 4 Metoder til opgørelse af vand- og stoftilførsel fra umålte søoplande 19

- 4.1 Indledning 19
- 4.2 Definition af umålte søoplande 19
- 4.3 Vandtilførslen fra umålte søoplande 19
- 4.4 Stoftilførslen fra umålte søoplande 21
- 4.5 Opgørelse af kvælstof og fosfor i ind- og udsivende  
vand for søer 22
- 4.6 Nye metoder 23

### 5 Kildeopsplitning af næringsstoftransport 25

- 5.1 Indledning 25
- 5.2 Metode til kildeopsplitning 25
- 5.3 Opgørelse af de enkelte kilder 27
- 5.4 Umålt opland 29
- 5.5 Tidsopløsning 30
- 5.6 Eksempel på kildeopsplitning 30

## **6 Metode til opsætning af nedbørs- og afstrømningsmodel på oplande 33**

- 6.1 Indledning 33
- 6.2 Modelopbygning 34
- 6.3 Krav til input data 34
- 6.4 Output data 37
- 6.5 Opsætning, kalibrering og aftestning af model 38

## **7 Metode til analyse af udviklingstendenser for vandføring, kvælstof og fosfor 47**

- 7.1 Indledning 47
- 7.2 Metodebeskrivelse 47

## **8 Metode til modellering og oplandsanalyse af kvælstofstrømme i oplande 57**

- 8.1 Indledning 57
- 8.2 Kildeopsplitning af kvælstoftransport i vandløb 57
- 8.3 Tolkning af kvælstofkoncentration og -transport imod afstrømningsforhold i oplandet 58
- 8.4 Opstilling af kvælstofbudget og beregning af kvælstofudvaskning i oplandet 58
- 8.5 Kalibrering af distribueret kvælstofmodel 59
- 8.6 Kvælstofomsætning i retablerede våde enge 59
- 8.7 Scenarieberegninger 60

## **9 Metode til modellering og oplandsanalyse af fosforstrømme i oplande 61**

- 9.1 Indledning 61
- 9.2 Kildeopsplitning af fosfortransport i vandløb 61
- 9.3 Tolkning af fosforkoncentration og -transport imod afstrømningsforhold i oplandet 59
- 9.4 Opstilling af fosforbudget og vurdering af potentialet for fosforudvaskning i oplandet 62
- 9.5 Analyse af erosionsrisiko og -omfang i oplandet 62
- 9.6 Scenarieberegninger 69

## **Referencer 71**

### **Bilag**

- Bilag 1 75
- Bilag 2 76
- Bilag 3 77
- Bilag 4 – Feltskemaer til brug i kortlægningen af brink- og rilleerosion 81
- Appendiks A 84
- Appendiks B 89

# Forord

Denne tekniske anvisning er 2. reviderede udgave.

I forhold til 1. udgave er denne 2. udgave blevet tilrettet, og der er tilføjet nye afsnit i kapitel 9 om måling af brink- og jorderosion.

Anvisningen indeholder anvisninger for, hvordan oplandsanalyser i 25 vandløbsoplande og søoplandene under det nationale overvågningsprogram for vandmiljøet (NOVA) 1998-2003 skal gennemføres. Da oplandsanalyserne gennemføres trinvis gennem hele perioden 1998-2003 vil den tekniske anvisning løbende skulle justeres og opdateres med den nyeste faglige viden på området. Den foreliggende tekniske anvisning indeholder derfor ikke på alle områder oplysninger om de endelige modelværktøjer, som skal anvendes i oplandsanalyserne. Anvisningen indeholder konkrete metodeanvisninger på hvad der skal indsamles af ekstra nøgleoplysninger i løbet af perioden og en tidsplan herfor. Den indeholder også beskrivelse af konkrete metoder til opstilling af vandbalancen for de 25 vandløbsoplande, den første tolkning af hydrografen, samt den endelige opsætning af en nedbørs- og afstrømningsmodel.

Anvisningen giver samtidig metodegrundlaget for gennemførelse af standardiserede kildeopsplitninger af kvælstof- og fosfortransport i vandløb, samt standardiserede metoder til opgørelse af vand-, kvælstof- og fosforbelastningen fra umålte arealer i søoplande. Endelig indeholder den tekniske anvisning de første faglige kriterier for gennemførelse af en ny version af trendanalysen, hvor viden fra oplandets hydrologiske respons indarbejdes og gennemførelse af analyserne og scenarierne for kvælstof- og fosforstrømme i de 25 vandløbsoplande.

*[Tom side]*

# 1 Formål

Oplandsanalyserne har som overordnet formål at opnå en bedre forståelse og beskrivelse af transportveje for vand og næringsstoffer i vandløbs- og søoplande. Betydningen af jordtyper, klima, landskab, dræning, arealanvendelse og landbrugspraksis vil blive inddraget, idet undersøgelserne omfatter en række oplande, der er forskellige for så vidt angår disse elementer.

Sigtet med oplandsanalyserne er at bibringe et samlet ensartet metodegrundlag ud fra hvilket det vil være muligt at simulere betydningen af forskellige miljø- og naturhandlingsplaner over for kvælstof- og fosforbelastningen samt dokumentere og forklare udviklingen heri.

Det store antal oplande i analysen skal sikre en vidensopbygning, der vil gøre det muligt at overføre resultaterne til regionale og landsdækkende beregninger og vurderinger.



*[Tom side]*

## 2 Baggrund

I forhold til Overvågningsprogrammets overordnede formål er de foreslåede oplandsanalyser nødvendige for at kunne tilvejebringe årsagssammenhænge mellem naturgrundlag, arealanvendelse, stofstrømme og den resulterende næringsstoftransport i vandløb. Dels for at kunne danne baggrund for eventuelle politiske/administrative forureningsbegrænsende tiltag, og dels med henblik på, at kunne beskrive effekter af miljøpolitiske handlingsplaner.

Resultaterne fra oplandsanalyserne vil således medvirke til at forbedre tolkningen af de løbende resultater fra den generelle nationale overvågning. Ikke kun i de specifikt omfattede oplande for vandløb og søer, men også generelt i hele vandmiljøet.

I løbet af den nye overvågningsperiode, fx i forbindelse med temarapporteringer, gennemføres der for vandløbs- og søoplandene en scenarieanalyse af de opnåelige reduktioner i næringsstofftilførslen til vandløb og søer ved gennemførelse af forskellige tiltag overfor punktkilder, arealanvendelse, landbrugspraksis, mv. og effekterne heraf i søerne. Oplandsanalyserne vil i vid udstrækning blive koordineret med indsatsen under Landovervågningsprogrammet og opsamlet viden vil blive udnyttet i et tværgående samarbejde.

De hidtidige resultater fra vandløb i mindre oplande med intensive målinger af fosfortransporten har dokumenteret, at den diffuse fosforbelastning af vandløb og søer er større end hidtil antaget, samt at den varierer betydeligt i tid og rum. I det reviderede overvågningsprogram er der derfor etableret intensive stationer i netop de 25 små oplande, som omfattes af oplandsanalysen. Undersøgelser under Det Strategiske Miljøforskningsprogram har også tydeliggjort, at der er et meget stort behov for at forbedre metodegrundlaget til opgørelse af kildeområderne og transportvejene for fosfor. I modsætning til kvælstof tilføres fosfor nemlig også vandmiljøet i betydelige mængder fra erosionsbetingede processer, det være sig både vand- og vinderosion. Samtidig er det nødvendigt at øge viden om P-udvaskningen i relation til dyrkningspraksis.

Hertil kommer at der i forbindelse med overvågningen af især kvælstof i vandmiljøet er behov for at kunne sammenkæde ændringer i landbrugspraksis og ændringer i N-udvaskning fra rodzonen, med den resulterende effekt i overfladevand. Der er således et stort behov for at få kvantificeret betydningen af N-fjernelsen under kvælstofs passage gennem de forskellige vandmagasiner i vandløbsoplande. Herunder også en større forståelse af den hydrologiske respons i oplande, specielt vedrørende tidsmæssige forsinkelser i vandets vej fra rodzone til vandløb.

*[Tom side]*

## 3 Indsamling og operationalisering af geografiske relaterede data

### 3.1 Indledning

Nøgleinformationer i en oplandsanalyse er kendskabet til de punktkilder og diffuse kilder, der bidrager til næringsstofindholdet i vandløbet eller søen. Hertil kommer, at en viden om oplandets hydrologi, herunder især vandafstrømningen og dens fordeling henover året, er en afgørende forudsætning for at kunne beregne transporten af næringsstof. Et grundlæggende kendskab til oplandets hydrologi og næringsstofkilder kræver en viden om en lang række geografisk relaterede emner, der tilsammen kan beskrive både det naturgivne grundlag, fx landskaberne, og de kulturbetingede påvirkninger, fx i form af arealanvendelsen. Som det første led i oplandsanalyserne skal disse informationer tilvejebringes og gøres tilgængelige til de senere analyser, modelopstillinger og scenarier.

### 3.2 Oplandsafgrænsning

#### Metode og datagrundlag

Oplandsafgrænsningen til vandløbsstationen, i form af det topografiske vandskel, skal som minimum være fastlagt og indlagt som UTM-kæder på et GIS. Afgrænsningen sker på standardiseret vis ud fra højdekurver på 4 cm (1:25.000) kortets højdekurver.

Ved fastlæggelse af det topografiske opland skal der tages hensyn til forløbet af eventuelle grøfter og vandløb (se nedenfor for kortlægning af disse), der i visse tilfælde kan krydse det topografiske skel. Det topografiske opland til disse grøfter og vandløb medtages i oplandets topografiske vandskel, hvorved afstrømningsoplandet er fastlagt. Der kontrolleres også for om eventuelle hoveddrænsystemer (se nedenfor for kortlægning af disse) krydser det topografiske vandskel. I så fald afpasses det topografiske skel herefter, så der i oplandsanalyserne opereres med et afstrømningsopland.

Et eksempel på afstrømningsoplandet til en vandløbsstation i et lille vandløbsopland er vist i figur 3.1.

#### Anvendelse

Det topografiske vandskel til målestationen er en geografisk nøgleoplysning for alle senere indsamlinger af geografisk relaterede data, for tolkninger af arealrelaterede parametre, vand- og stofbalancer for oplandet opsætning af modeller og scenarieberegninger.

### 3.3 Vandløb, grøfter og søer

#### Metode

Alle vandløb og grøfter i oplandet digitaliseres og lagres på GIS. Vandløb og grøfter optages enten fra 4 cm kort eller fra TOP10 DK kort. Småvandløb og grøfter, der ikke er anført på disse kort kan også optages fra amternes egen §3 kortlægning eller anden kortlægning.

Et eksempel på vandløbsforløb og grøfter i et lille vandløbsopland er vist i figur 3.1.

#### Anvendelse

Fastlæggelse af vandløbsforløb og grøfter er afgørende for senere analyser af vand- og stofstrømme i oplandet, herunder opsætning af hydrologiske modeller. Det gælder fx i relation til kortlægning og beregninger af fosfortilførsel fra jorderosion og brinkerosion og til brug ved kortlægning af vandløbsnære bræmmer, våde enge mv.

### 3.4 Drænsystemer

#### Metode

Som minimum skal alle hoveddrænsystemer i oplandet optegnes, digitaliseres og indlægges på GIS. Hoveddrænsystemer fastlægges af amterne eventuelt med støtte i den allerede udførte interviewundersøgelse i 1993/94. Eventuelt kan oplysninger også indhentes fra eksisterende drænarkiver og/eller fra kommunerne i området. Desuden kan der kombineres med oplysninger fra egentlige feltregistreringer af rørudløb i vandløbet. Fastlæggelse af hoveddrænsystemer skal også omfatte eventuelle rørlagte vandløbsstrækninger. I forbindelse med feltkortlægning optages en UTM-koordinat på rørudløbet og rørets dimensioner måles.

Et eksempel på hoveddrænsystemer og rørlagte vandløbsstrækninger i oplandet til et lille vandløbsopland er vist i figur 3.2.

#### Anvendelse

Viden om omfanget af dræning i oplandet er vigtig for tolkninger af hydrografen ved vandløbsstationen, opsætning af nedbørs- og afstrømningsmodellen (se kapitel 6) og for de senere analyser/modelleringer og scenarier af kvælstof- og fosforstrømme i oplandet.

### 3.5 Jordbundsforhold

#### Metode

Oplysninger om jordbundsforholdene i oplandet (overjorden: 0-20 cm) indhentes fra eksisterende datasamlinger og indlægges på GIS. For landbrugsarealet skal Jordklassificeringen i Danmark (1:50,000)

anvendes. Eventuelle manglende kortlagte områder (skovområder og byzone) skal der foretages et skøn over jordtypen ud fra de nærværende registrerede jordtyper, således at hele oplandet får tildelt en jordtype.

Et eksempel jordbundsforholdene (overjord) i et lille vandløbsopland er vist i figur 3.3.

### **Anvendelse**

Viden om jordbundsforholdene er bl.a. vigtige i forbindelse med tolkning af vand- og stofafstrømningen, modelberegninger af kvælstof- og fosforudvaskning, samt støtte ved tolkninger af de hydrogeologiske forhold i oplandet ved opsætning af nedbørs- og afstrømningsmodellen. Jordbundsforholdene er også vigtige ved beregninger af erodibiliteten i oplandet og simuleringer af den potentielle jorderosion i slope units og leveringen af jord og fosfor med overfladeafstrømning til åbne vandløb og grøfter.

## **3.6 Geologiske forhold**

### **Metode**

Oplysninger om de geologiske forhold (underjorden: 1m og dybere) indhentes fra eksisterende datasamlinger og indlægges på GIS. Oplysningerne skal basere sig på eksisterende digitale data ved GEUS (1:50,000) eller i tilfælde, hvor disse ikke foreligger, oplysninger fra Jordklassificeringen i Danmark (1:50,000). Oplysninger fra amternes egen viden om geologien i oplandet ud fra drikkevandsboringer, geologiske kortlægninger mv. inddrages om nødvendigt også til støtte for kortlægningen.

De geologiske forhold i hele Danmark er på nuværende tidspunkt ikke endeligt kortlagt af GEUS. Oplysninger fra GEUS foreligger dog digitalt for det meste af landet på nuværende tidspunkt. I figur 3.4 er derfor vist oplysningerne fra Jordklassificeringen om geologien i en del af et mindre vandløbsopland.

### **Anvendelse**

Viden om de geologiske forhold i oplandet (underjorden) er vigtig til støtte for tolkninger af oplandets hydrologi, herunder specielt afstrømningsforholdene, opsætning af nedbørs- og afstrømningsmodellen og tolkninger/modelleringer af stofstrømme. Hertil kommer at viden om hydrogeologien er vigtig i scenarieberegninger af effekter af ændret arealanvendelse og landbrugspraksis. Specielt i relation til hvilken tidsmæssig forsinkelse, der vil være mellem en ændret kvælstofudvaskning og en målbar respons i vandløbet.

### **3.7 LavbundsJORde**

#### **Metode**

Oplysninger om udbredelsen af lavbundsJORde i oplandet indhentes fra eksisterende datasamlinger og indlægges på GIS. Digitale data om lavbundsJORde (1:50,000) i Danmark findes ved Danmarks JordbrugsForskning.

Et eksempel på udbredelsen af lavbundsJORde i et mindre vandløbsopland er vist i figur 3.5.

#### **Anvendelse**

Viden om omfang og beliggenhed af lavbundsJORde i oplandet er vigtig i forbindelse med scenarier der omfatter effektberegninger for kvælstofomsætning ved retablering af våde enge, modellering af hydrologisk respons og beregninger af fx fosforudvaskning og eventuel deponering ved oversvømmelser af ånære arealer.

### **3.8 Topografiske forhold**

#### **Metode**

Eksisterende oplysninger om de topografiske forhold i oplandet i form af en højdemodel (grundlag KMS 2 cm 1:50.000 kort) indhentes og indlægges på GIS.

Et eksempel på en højdemodel for oplandet til et lille vandløbsopland er vist i figur 3.6.

#### **Anvendelse**

De topografiske forhold er vigtige i forbindelse med tolkninger/modellering af hydrologien i oplandet, herunder en mulig afgrænsning af hydrotoper (dvs. områder med samme hydrologiske respons). De topografiske forhold er desuden afgørende for fastlæggelse af slope units i oplandet ned mod vandløb og grøfter, samt fastlæggelse af hældninger og hældningslængder til brug for udpegning af erosionsområder og modelberegninger af jorderosion og dens eventuelle betydning for levering af jord og fosfor til vandløb og grøfter.

### **3.9 Arealanvendelse**

#### **Metode**

Arealanvendelsen i oplandet kortlægges enten i form af eksisterende oplysninger fra CORINE+ eller ved anvendelse af en kombination af TOP10 DK, amternes §3 kortlægning og blokkort. TOP10 DK indeholder oplysninger om den generelle arealanvendelse, §3 kortlægningen om naturarealer og blokkortene om potentielle landbrugsarealer, veje mv. Oplysninger indlægges på GIS.

Et eksempel på kortlægning af arealanvendelsen i oplandet til et mindre vandløbsopland ved hjælp af TOP10 DK, §3 data og blokkort er vist i figur 3.7.

#### **Anvendelse**

Oplandets arealanvendelse er en meget vigtig faktor for oplandets hydrologi, samt kvælstof- og fosforstrømme og skal derfor være udgangspunktet for modelleringer og scenariebetragninger vedrørende kvælstof og fosforbelastning af overfladevand.

### **3.10 Bedrifiers jordtilliggende**

#### **Metode**

Bedrifternes jordtilliggende indenfor oplandet digitaliseres i form af bedriftsgrænser ud fra interviewundersøgelsen af landbrugspraksis i 1993/94 og indlægges på GIS.

Et eksempel på bedrifter og grænser herfor i et mindre vandløbsopland er vist i figur 3.8.

#### **Anvendelse**

Oplysningerne om bedrifter og grænser udnyttes i visualiseringen og tolkninger af sammenhænge i landbrugspraksis og næringsstofudvaskning i oplandet. Endvidere udnyttes den rumlige information til opgørelse af næringsstofudvaskningen fra de forskellige bedrifter i oplandet både til visualisering af de landbrugsrelaterede kvælstof- og fosforudledninger og til brug i senere tolkninger/modelleringer og scenariebetragninger.

### **3.11 Okkerpotentielle jorde**

#### **Metode**

Forekomst og udbredelse af okkerpotentielle jorde i oplandet kortlægges ud fra eksisterende data og indlægges på GIS. Digitale oplysninger herom (1:25.000) findes for Jylland ved Danmarks Jordbrugsforskning.

#### **Anvendelse**

Oplysningerne skal anvendes til støtte for tolkning af kvælstof- og fosforafstrømning, herunder især kvælstofomsætningen i underjorden fra rodzone til vandløb i oplandet.

### **3.12 Spredt bebyggelse**

Oplysninger om rensningstype og afledningsforhold skal helst bygge på videngrundlag A, som tidligere er anvist af Fagdatacenter for Punktkilder. Dette gælder både for vandløbs- og søoplande.



### **Anvendelse**

Oplysninger om belastningen (potentiel og beregnet) fra spredt bebyggelse til overfladevand skal anvendes til tolkninger af fosforbelastningen, udviklingen heri og i scenarier for betydningen af fremtidig belastning fra spredt bebyggelse ved forskellige typer af indgreb.

## **3.13 Punktkilder**

### **Metode**

Udledningssted for større punktkilder (rensningsanlæg, industrier og dambrug) digitaliseres og indlægges på GIS. Dette foretages kun i søoplandene. Oplysninger om udledningmængder af vand og næringsstoffer opsamles og lagres på edb for hvert udledningssted. Tilvejebringelsen af disse oplysninger skal følge eksisterende retningslinier fra Fagdatacenter for Punktkilder, og datagrundlaget skal være det samme på anlægsniveau, som dem der allerede bliver indberettet hertil. For både vandløbs- og søoplandene skal der som hidtil eksistere en samlet opgørelse over udledningen af vand, kvælstof og fosfor opdelt på månedsbasis.

### **Anvendelse**

Udledningssteder og -mængder fra større punktkilder skal anvendes i kildeopsplitninger og scenariebetragtinger for oplandet.

## **3.14 Landbrugspraksis på bedriftsniveau**

### **Metode**

Nøgleoplysninger om landbrugspraksis og husdyrhold i oplandet, som tilførsel og fraførsel af kvælstof- og fosforgødning på bedriftsniveau, fra den eksisterende indsamling i driftsåret 1993/94 lagres på edb så de kan kobles til GIS. Nye data om landbrugspraksis og husdyrhold vil blive indsamlet mindst en gang i den kommende overvågningsperiode under Landovervågnings-programmet. Indsamlingen er planlagt til, som minimum, at omfatte driftsåret 1998/99. Disse skal også lagres på edb koblet til GIS (blokkort fra GLR). De indsamlede data benyttes til at beregne kvælstofudvaskningen på bedriftsniveau, ved hjælp af empiriske udvaskningsfunktioner, for de år hvor data er indsamlet.

Et eksempel på nettotilførsel af kvælstof til landbrugsjorden på bedriftsniveau i et mindre opland er vist i figur 3.9.

### **Anvendelse**

De indsamlede data om dyrkningspraksis og den beregnede kvælstofudvaskning udnyttes til visualisering og tolkning af jordbrugets betydning for kvælstofbelastningen af vandløb, samt til opsætning/afvikling af modeller og scenarier. Ved at sammenholde den beregnede kvælstofudvaskning mod målt vandløbstransport opnås

information om kvælstofomsætningen i underjorden inden for oplandet.

### 3.15 Husdyrhold på bedriftsniveau

#### Metode

Der skal ske en indsamling af oplysninger om husdyrholdet på bedrifterne i oplandet, som fremskaffes for hvert år i perioden 199x-1999 fra det Centrale HusdyrbrugsRegister (CHR).

#### Anvendelse

De årlige oplysninger om udviklingen i husdyrholdet indenfor oplandet forventes at kunne udnyttes i frem-/tilbageskrivninger af ændringerne i kvælstofudvaskning for de år hvor der ikke eksisterer oplysninger om landbrugspraksis. Dette vil være værdifulde informationer til tolkninger af eventuelle ændringer i kvælstoftransporten i vandløb efter korrektion for afstrømningsvariationer.

### 3.16 Oversigt over krav til dataindsamling for vandløbs- og søplande

*Table 3.1:* Oversigt over de typer af geografisk relaterede data, som skal indsamles til brug for oplandsanalyser i de 25 vandløbsoplande og i søoplandene.

Datatype	Vandløbsoplande	Søoplande
Oplandsafgrænsning	x	x
Vandløb, grøfter og søer	x	x
Drænsystemer	x	-
Jordbundsforhold	x	x
Geologiske forhold	x	x
Lavbundslande	x	-
Topografiske forhold	x	x
Arealanvendelse	x	(CORINE)
Bedrifters jordtilliggende	x	-
Okkerpotentielle jorder	x	-
Spredt bebyggelse	x	x
Punktkilder	-	x
Landbrugspraksis	x	-
Husdyrhold	x	x

*[Tom side]*

## 4 Metoder til opgørelse af vand- og stoftilførsel fra umålte søoplande

### 4.1 Indledning

Andelen af vand- og stoftilførslen fra det umålte opland kan udgøre en væsentlig del af den samlede beregnede vand- og stoftilførsel til en sø (se fx fig. 4.1 i *Jensen et al.*, 1995). Det er derfor også nødvendigt med standardiserede og dokumenterede opgørelsesmetoder. Formålet med dette kapitel er at sikre denne standardisering og dokumentation i forbindelse med søovervågningen i NOVA 1998-2003.

Beskrivelserne af metoderne til bestemmelse af vand- og stoftilførslen fra det umålte opland tager udgangspunkt i de tidligere anbefalinger (*Wiggers et al.*, 1994). Disse er dog reviderede, og samtidigt er der også medtaget en beskrivelse af nye metoder.

### 4.2 Definition af umålte søoplande

Arealer indenfor oplandet til søer, der ikke ligger i det topografiske opland til stoftransportstationer (tilløbsstationer) defineres som umålt opland. Opland til ikke-målte tilløb er således også omfattet af det umålte opland.

Andelen af det umålte opland i forhold til det målte opland bør naturligvis være så lille som muligt, men praktiske og ressourcemæssige hensyn betyder, at det umålte opland til en sø ofte vil være på mere end 10 % af det samlede opland. Derfor er det vigtigt, at der anvendes dokumenterede og standardiserede metoder til opgørelsen af vand- og stoftilførslen fra det umålte opland.

Kendskabet til det umålte opland med hensyn til størrelse, samt en karakteristik i form af arealanvendelse, jordtyper, mv. er væsentlige baggrundsinformationer ved beregning af vand- og stoftilførslen herfra. Dette gælder uanset hvilken af de anbefalede beregningsmetoder, som skal anvendes i det konkrete tilfælde.

### 4.3 Vandtilførslen fra umålte søoplande

Vandbalancen for en sø er grundlag for opstilling af en stofbalance. Det er derfor af stor betydning, at vandbalancen bygger på gode vandføringsbestemmelser (Q-H bestemte vandføringer og evt. Qq bestemte vandføringer), specielt for hovedtilløb af afløb fra søer.

Som udgangspunkt estimeres vandtilførslen fra det umålte opland i en given periode ved at benytte den arealspecifikke vandtilførsel fra det målte opland i samme periode ganget med det umålte oplands areal.

I nogle tilfælde, fx hvor der tidligere er foretaget vandføringsmålinger (fx stationsdrift i kortere perioder eller synkronmålinger) i vandløb indenfor det nuværende umålte opland, kan der opstilles relationer mellem disse vandføringer og vandføringen på samme tidspunkt ved en hydrometrystation med kontinuerlig vandføringsberegning i det målte opland eller eventuelt andre nærvedliggende stationer. Hvis sådanne Q-Q relationer kan opstilles kan de derefter anvendes til beregning af vandføringen i vandløb i det umålte opland. Dette kan give bedre estimater for den samlede vandtilførsel eller dele heraf fra det umålte opland.

Selv hvis der blot foreligger enkelte synkronmålinger i det umålte opland kan de benyttes til at vurdere, om man direkte kan overføre vandtilførslen i det målte opland til det umålte ved en arealvægtet korrektion.

Efter beregning af vandtilførslen fra det umålte land skal der altid opstilles en vandbalance for søen. Dette foretages med henblik på en vurdering af de målte og beregnede vandtilførsels nøjagtighed.

Vandbalancens elementer er (den egentlige vandbalance for søen rummer flere elementer bla. estimater for ind- og udsivning (se Jensen *et al.*, 1995)):

$$A_{\text{afløb}} = A_{\text{mo}} + A_{\text{uo}} + N_{\text{so}} - F_{\text{so}} - \Delta M + \text{rest}$$

hvor  $A_{\text{afløb}}$  er vandfråførslen fra søen,  $A_{\text{mo}}$  er den målte vandtilførsel,  $A_{\text{uo}}$  er den umålte vandtilførsel,  $N_{\text{so}}$  er nedbøren på søer,  $F_{\text{so}}$  er fordampningen fra søer, og  $\Delta M$  er ændringen i søens vandvolumen (positiv ved øget volumen, negativ ved faldende volumen).

Ud fra ovennævnte vandbalance kan der estimeres en nettogrundsvandsudveksling for søen (Jensen *et al.*, 1995), dette gøres ved månedsvis afstemning af vandbalancen på baggrund af månedlige vand- og stoftransporter, oplysninger om oplandsstørrelser, nedbør og fordampning, direkte tilledninger til søerne.

Vandbalancen inklusive grundvandsudvekslingen kan således opgøres månedsvis som:

$$Q_{\text{målt}} + Q_{\text{umålt}} + Q_{\text{nedbør}} + Q_{\text{indsivning}} = Q_{\text{afløb}} + Q_{\text{fordampning}} + Q_{\text{udsivning}} + \Delta_{\text{volumen}} \quad (1)$$

$Q_{\text{målt}}$  er de(t) målte tilløb (målt opland),  $Q_{\text{umålt}}$  er det umålte tilløb (umålt opland), normalt beregnet ved simpel oplandskorrektion til det målte tilløb,  $Q_{\text{nedbør}}$  er den målte nedbør gange 1,16, og  $Q_{\text{fordampning}}$  er den potentielle fordampning gange 1,1,  $Q_{\text{afløb}}$  er det målte afløb.  $\Delta_{\text{volumen}}$  er ændringer i søernes vandvolumen. Henholdsvis  $Q_{\text{indsivning}}$  eller  $Q_{\text{udsivning}}$  er derefter beregnet ved afstemning af ovenstående ligning (1), og der er således tale om et nettoresultat. Enten  $Q_{\text{indsivning}}$  eller  $Q_{\text{udsivning}}$  må nødvendigvis antages at være 0 i den givne måned. Årsbalancer er herefter beregnet ved summering af de enkelte måneders resultater.

En fare ved beregningen af grundvandsudvekslingen ( $Q_{\text{indsivning}}$  og  $Q_{\text{udsivning}}$ ) som en differens mellem de målte og estimerede størrelser er naturligvis, at metoden akkumulerer eventuelle usikkerheder eller fejl i dette ligningsled. Det er dog tidligere blevet sandsynliggjort, at

der ofte er tale om en reel grundvandsudveksling (Jensen et al., 1995; se også afsnit 4.5).

Hvis vandbalancen for den givne periode viser, at der er et meget stort restled, som på grund af dets størrelse og sæsonvariation ikke kan tolkes som grundvandsindsivning eller grundvandsudsivning, anbefales det at iværksætte synkronmålinger af vandføring og eventuel stofkoncentrationer i vandløbene i det umålte opland. Synkronmålingerne gennemføres fx hvert kvartal gennem et år til belysning af, om det opland der ligger til grund for estimeringen af vandtilførslen fra det umålte opland også er repræsentativt for dette. Hvis dette ikke er tilfældet, må der forsøges opstillet relationer mellem synkronmålestationer og vandføringen i vandløb i det målte opland, som det er beskrevet ovenfor.

Ved validering af de enkelte led i vandbalancen, vil det ofte være nyttigt at omregne til arealrelateret afstrømning (fx  $l s^{-1} km^2$ ), idet åbenlyse problemer omkring bestemmelser vandføring (eller oplandsafgrænsning) herved ofte vil vise sig.

#### **4.4 Stoftilførslen fra umålte søoplande**

Næringsstoftilførslen fra det umålte opland beregnes som summen af bidrag fra det åbne land (inkl. spredt bebyggelse) og bidrag fra eventuelle egentlige punktkilder i oplandet.

Ved beregning af næringsstoftilførslen fra det åbne land benyttes en repræsentativ vandføringsvægtet koncentration for henholdsvis total kvælstof og total fosfor. Hvis det målte og det umålte opland er rimelig ens hvad angår især jordtype og arealanvendelse, anvendes de vandføringsvægtede koncentrationer (fraregnet eventuelle punktkilder) fra det målte opland for det umålte opland. Man skal dog her være meget opmærksom på, om der ved fraregning af punktkildeudledningerne i det målte opland beregnes urealistisk lave stoftilførsler fra det åbne land i det målte opland (specielt for fosfor). Dette kan i det enkelte tilfælde vurderes ved at sammenligne det beregnede åbne lands tab fra det umålte opland med tilsvarende tal for vandløb i regionen i samme periode.

Hvis opgørelser af den månedlige fosfortilførsel fra det åbne land efter ovenstående metode giver urealistisk lave eller endog negative totale fosfortilførsler fra det umålte opland, vil det være nødvendigt, at udnytte resultater fra en alternativ referencestation (gerne intensivstation) i regionen. Denne udnyttes så som referencestation for beregning af åbne lands tab. Er der væsentlige forskelle i oplandskarakteristika mellem umålt søopland og intensiv stationsopland forsøges i stedet anvendt vandførings-vægtede koncentrationer fra et andet vandløbsopland (gerne intensivstation) uden for regionen med de samme oplandskarakteristika, som det umålte søopland. Dette gøres også såfremt hele søoplandet er umålt.

Den samlede stoftransport fra det umålte opland beregnes ved at addere eventuelle udledninger fra punktkilder til estimatet for næ-

ringsstofftilførslen fra det åbne land, som er beregnet ud fra den estimerede vandføring og de vandføringsvægtede koncentrationer.

I en del af vandløbene indenfor de umålte søoplande er der tidligere foretaget målinger af næringsstoffkoncentrationer. Disse koncentrationer kan eventuelt også anvendes for år, hvor der ikke måles, eller i det mindste bidrage til at vurdere om de beregnede koncentrationer og transporter i disse vandløb er acceptabelt estimeret med den metode, der nu anvendes.

Det kan være tilrådeligt at gennemføre kampagnemålinger af næringsstoffkoncentrationen i vandløb indenfor det umålte søopland, med henblik på at forbedre belastningsopgørelserne og i hvert fald til at vurdere om de antagne næringsstoffkoncentrationer er realistiske.

Det er vigtigt, at der er tidsmæssig overensstemmelse mellem målingerne af de vandføringsvægtede koncentrationer og den periode, for hvilken stoftransporten ønskes beregnet. Opgøres stofftilførslen således månedsvis skal der selvklart anvendes estimerede vandføringsvægtede koncentrationer, der er specifikke for de enkelte måneder. Der må således **ikke** anvendes en vandføringsvægtet koncentration beregnet på årsbasis til at beregne de månedlige stofbidrag fra det umålte opland.

Metoden til estimering stofftilførslen fra det umålte opland dokumenteres i forbindelse med den årlige rapportering. Benyttes ved estimeringen data fra stationer, der ikke indgår i NOVA 1998-2003, skal disse indberettes til Fagdatacenter for Ferskvand.

#### **4.5 Opgørelse af kvælstof og fosfor i ind- og udsivende vand for søer**

Opgøres vandbalance detaljeret med en estimeret månedsvis netto grundvandsudveksling (se afsnit 4.3), skal det ind- og udsivende vand også tildeles realistiske koncentrationer for at estimere stofudvekslingen ved denne netto. Det udsivende vand (Qudsivning) må antages at have søvandets koncentration. Det indsvivende vand (Qindsivning) kan umiddelbart have to oprindelser (en egentlig grundvandsindsivning eller et restled der relaterer sig til oplandets vandafstrømning), i følge Jensen et al. (1995) kan der dog meget vel være tale om en reel grundvandsudveksling, i sådanne tilfælde bør der vælges en repræsentativ stoffkoncentration målt i grundvand i nærheden (Kildemålinger er ofte anvendelige). Vurderes stofindsivningen derimod til at skyldes usikkerhed på oplandsafstrømningen (bl.a. hvis den beregnede vandudveksling tilfældigt varierer mellem ind- og udsivning mellem månederne, eller hvis geologiske vurderinger af søens undergrund indikerer at der ikke kan være tale om en reel grundvandsudveksling), er det bedste estimat for stoffkoncentrationen i det indsvivende vand den målte koncentration i tilløbene.

Herefter kan søens samlede stoffbalance (for stoffet S) beregnes månedsvis:

$$\text{Til}_S - \text{Ssøretention} = \text{Afl}_S + \text{åmagasin}_S \quad (2)$$

hvor

$$\text{Til}_S = \text{Til}_{\text{Smålt}} + \text{Til}_{\text{Sumålt}} + \text{Til}_{\text{Sdirekte}} + \text{Atm}_S + \text{Udsiv}_S \quad (3)$$

og

$$\text{Afl}_S = \text{Afl}_{\text{Smålt}} + \text{Udsiv}_S \quad (4)$$

åmagasin<sub>S</sub> er ændringen i stofindhold i søen over måneden. Til<sub>S</sub> er den samlede stoftilførsel fra det målte opland (Til<sub>Smålt</sub>), umålt opland (Til<sub>Sumålt</sub>), direkte spildevandstilledninger (Til<sub>Sdirekte</sub>), atmosfærisk deposition (Atm<sub>S</sub>) og beregnet udsivning (Udsiv<sub>S</sub>). Samlet stoffraførsel (Afl<sub>S</sub>) er summen af målt fraførsel i afløbet (Afl<sub>Smålt</sub>) og beregnet udsivning (Udsiv<sub>S</sub>). Retentionen af stof i søen (Ssøretention) er dermed eneste ubekendte led og kan beregnes ud fra (2). For flere detaljer om beregningerne henvises til Jensen et al. (1995).

## 4.6 Nye metoder

I forbindelse med overvågningsprogrammet for vandløb er der udviklet empiriske belastningsmodeller til beregning af næringsstoffabet fra det åbne land i mindre vandløbsoplande. Disse modeller kan anvendes, såvel på månedsbasis, som på årsbasis. I disse modeller indgår som input lettilgængelige geografiske oplysninger om oplandet samt vandafstrømningens størrelse. Metoden er indtil videre anvendt med held i Gjernå oplandet (Kronvang *et al.*, 1997a), samt på Horsens Fjord-oplandet (Kronvang *et al.*, 1997b).

Det diffuse tab af kvælstof og fosfor beregnes på månedsbasis ved brug af en model der indeholder følgende variable:

$$\text{Log}(N_{ij}) = \mu_i + \alpha_j + \beta_1 \log(Q_{ij}) + \beta_2 D + \beta_3 S + \beta_4 H + \beta_5 V$$

hvor  $\text{Log}(N_{ij})$  er logaritmen til det diffuse tab af N eller P, i står for år og j for måned.

Som forklarende variable indgår de naturgivne forhold: D er procenten af det dyrkede areal, S er procenten af sandjord i det dyrkede areal, H er procenten af organogene jorde, og V er procenten af vådområder i oplandet. Som den vigtigste og dynamisk forklarende variabel indgår  $Q_{ij}$ , som er afstrømningen i mm i år (j) og måned (i). De øvrige parametre i modellen er konstanter.

På nuværende tidspunkt skal modellen desværre kalibreres ind for det enkelte år, og er derfor pt. ikke praktisk anvendelig, som standardværktøj i forbindelse med søoplandene. Det forventes dog, at der i løbet af 1998-1999 sker en videreudvikling af denne model, således at metoden vil kunne finde anvendelse på et senere tidspunkt som et alternativt værktøj til belastningsopgørelser fra umålte oplande.



*[Tom side]*

# 5 Kildeopsplitning af næringsstoftransport

## 5.1 Indledning

En opsplittning af den totale næringsstofftilførsel til søer og næringsstoftransport i vandløb er nødvendig for at kunne kvantificere betydningen af enkeltkilder. Kildeopsplitningen er samtidig et væsentligt værktøj til analyser af udviklingen i de enkelte kilders betydning gennem tid. En viden om enkeltkilders betydning er samtidig en forudsætning for gennemførelse af scenarieberegninger for et vandløbs- og søopland, hvor effekten af forureningsbegrænsende tiltag mod enkeltkilder vurderes.

I forbindelse med NOVA 1998-2003 er indsatsen med hensyn til bl.a. kildeopsplitning intensiveret, som følge af de udvidede oplandsanalyser for de 31 intensive overvågningssøer og 25 vandløbsoplande

## 5.2 Metode til kildeopsplitning

Formålet med kildeopsplitningen er at få opdelt den belastning, der stammer fra oplandet til et vandløb eller til en sø på et antal stofkilder.

### 5.2.1 Immissioner af næringsstoffer til vandløb og søer

Ved stofimmission forstås den mængde stof, der kan måles i et medie, her ved en given målestation i et vandløb eller stoftilførslen til en sø.

Den totale mængde af næringsstof, som transporteres forbi en vandløbsstation eller tilføres en sø, vil når det divideres med oplandsarealet give et arealvægtet tab ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

Det arealvægtede tab over en given tidsperiode ( $i = \text{dag, måned, år ..}$ ) kaldes oplandstabet ( $OT_i$ ).

$$OT_i = T_i / O_A \quad (1)$$

hvor  $T_i$  = den målte transport ved vandløbsstationen eller beregnede tilførsel til søen over tiden ( $i$ ) beregnet i  $\text{kg}$  og  $O_A$  = oplandsarealet i hektar.

Oplandstabet  $OT_i$  består af de tilførte mængder af næringsstoffer til vandløb eller sø fra punktkilder, spredt bebyggelse, diffuse kilder og direkte atmosfærisk deposition på vandarealer i den pågældende tidsperiode ( $i$ ), fratrukket en eventuel fjernelse og tilbageholdelse af næringsstof under transporten i vandløbssystemet opstrøms vandløbsstationen eller søen i den givne tidsperiode ( $i$ ) og/eller tillagt en

eventuel mobilisering af næringsstoffer, som tidligere er tilført vandløbssystemet.

Oplandstabet kan derfor opskrives på følgende måde:

$$OT_i = (P_i + D_i + S_i - R_i + M_i + A_i) / O_A \quad (2)$$

Hvor:

$P_i$  = Total næringsstofudledning til vandløb/sø fra punktkilder, dvs. rensningsanlæg (>30 PE), industrier (kap. 5), dambrug og regnvandsbetingede udløb.

$D_i$  = Total næringsstoftilførsel til vandløb/sø fra diffuse arealrelaterede kilder, dvs. landbrugsrelateret tilførsel fra dyrkede arealer, baggrundsbidrag fra dyrkede arealer og skov- og naturarealer.

$S_i$  = Næringsstofudledninger fra spredt bebyggelse.

$R_i$  = Fjernelse og tilbageholdelse af næringsstoffer under transporten gennem vandløbssystemet i den pågældende tidsperiode. Bemærk at  $R_i$  altid indgår som et positivt led for både kvælstof og fosfor.  $R_i$  antager således værdien nul hvis, der er tale om en nettofrigivelse af fosfor fra søen.

$M_i$  = Mobilisering/frigivelse af tidligere tilbageholdte næringsstoffer fra vandløbssystemet (dvs. udenfor den betragtede periode), fx i form af fosforfrigivelse fra søbunden eller resuspension af fosfor fra vandløbsbunden. Bemærk at  $M_i$  kun er forskellig fra nul ved en egentlig mobilisering/frigivelse af stof fra sø eller vandløb og altid antager positive værdier.

$A_i$  = Atmosfærisk deposition af næringsstoffer på vandløbs- og søarealet indenfor oplandet.

Tabet af næringsstoffer fra det åbne land (**åbne lands oplandstab: ÅT**) er defineret som:

$$\text{Å}OT_i = (T_i - P_i) / O_A \quad (3)$$

Tabet af næringsstoffer fra diffuse kilder (**diffust oplandstab: DOT**) er defineret som:

$$DOT_i = (T_i - P_i - S_i) / O_A \quad (4)$$

### 5.2.2 Emissioner af næringsstoffer til vandløb og søer

Ved en stofemission forstås en stoftilførsel fra en enkeltkilde eller en samling af kilder til et medie, her stoftilførslen opstrøms en målestation i et vandløb eller stoftilførslen til en sø.

Emissionen eller tilførslen af næringsstoffer til vandløb/sø fra landbrugsarealer ( $L$ ) er defineret som:

$$L_i = T_i - P_i - S_i + R_i - N_i - M_i - A_i \quad (5)$$

Hvor  $N_i$  = Tilførslen af næringsstoffer til vandløb/sø fra skov- og naturarealer i oplandet.

Tilførslen af næringsstoffer til vandløb/sø fra landbrugsrelaterede aktiviteter i oplandet (Antropogene Landbrugsrelaterede tilførsel) er defineret som:

$$AL_i = T_i - P_i - S_i + R_i - B_i - M_i - A_i \quad (6)$$

Hvor  $B_i$  = Baggrundstilførslen af næringsstoffer til vandløb/sø fra hele oplandet, eksklusiv befæstede arealer.

Den antropogene landbrugsrelaterede tilførsel kan arelvægtes både i forhold til det samlede oplandsareal ( $O_A$ ) og i forhold til landbrugsarealet i oplandet ( $O_{LA}$ ).

Landbrugsbidraget fra det samlede oplandsareal ( $O_A L_{ii}$ ) defineres således:

$$O_A L_{ii} = AL_i / O_A$$

og tilsvarende defineres landbrugsbidraget fra de dyrkede arealer ( $O_L L_i$ ) som:

$$O_L L_i = AL_i / O_L, \text{ hvor } O_L \text{ er}$$

landbrugsarealet i oplandet

### 5.2.3 Særlige forhold vedrørende søer

I forbindelse med søer indgår der i den samlede tilførsel et yderligere element end beskrevet ovenfor, nemlig bidraget fra eventuel grundvandsindsivning. Beregningerne gennemføres som angivet i afsnit 4.3 og 4.5.

Disse angives i kildeopsplitningen som separate kilder udover de ovenfor anførte.

## 5.3 Opgørelse af de enkelte kilder

Vand- og stofudledninger fra punktkilder og spredt bebyggelse indgår i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram for Punktkilder, og Fagdatacentret for Punktkilder er således den ansvarlige for metoder, mv. De primære anvisninger på området gives af Fagdatacentret for Punktkilder (se Miljøstyrelsen, 1997 & 1998). Det er således disse anvisninger, man skal anvende. Kvantificeringen af enkeltkilder omfatter, dels en identificering af disse i oplandet (1), og dels efterfølgende en kvantificering af stoftilførslen fra kilderne (2). Metoderne hertil er forskellig for de forskellige kilder:

### 5.3.1 Byspildevand

NOVA 2000 for punktkilder omfatter samtlige renseanlæg i Danmark større end 30 PE, hvorfor data herom fremskaffes herfra.

- 1) Placering og størrelsen (dimensioneret og tilsluttet antal PE (personækvivalenter)) af spildevandsanlæggene i oplandet samt rensningstyper og - effektivitet.
- 2) Stoftransporten beregnes enten ud fra målinger af vandmængder og stofkoncentrationer eller for anlæg uden målinger ud fra erfaringstal for restudledning ved forskellig (Miljøstyrelsen, 1997, 1998) og det tilsluttede antal PE.

### **5.3.2 Industrispildevand**

Data herom fremskaffes primært på basis af NOVA 2000 for punktkilder.

- 1) Placering og størrelsen af spildevandsanlæggene i oplandet samt rensningstyper og - effektivitet.
- 2) Stoftransporten beregnes enten ud fra målinger af vandmængder og stofkoncentrationer.

### **5.3.3 Regnvandsbetingede udledninger**

Data herom fremskaffes primært på basis af NOVA 2000 for punktkilder.

Opgørelser bygger på beregninger for overløbsværker samt for afledning fra separat kloakerede områder. Det enkelte års belastning korrigeres i forhold til den aktuelle nedbør.

### **5.3.4 Spredt bebyggelse**

Spildevandsanlæg mindre end 30 PE defineres som spredt bebyggelse. Opgørelserne bygger på kendskab til antal ejendomme i oplandene, anlægstype (septitank, nedsivning mv.), standardtal for belastning pr. person og rensegrader samt en reduktion for tab undervejs til vandløbene. Data herom fremskaffes primært på basis af NOVA 2000 for punktkilder.

### **5.3.5 Dambrugsudledninger**

Data herom fremskaffes primært på basis af NOVA 2000 for punktkilder (Miljøstyrelsen, 1998).

Stoftransporten opgøres ud fra målinger eller estimeres på baggrund af foderforbrug mv., og tilbageholdelsen af kvælstof og fosfor i bundfældningsbassiner.

### **5.3.6 Arealrelaterede tab**

1. Metoder til kortlægning af oplandets natur- og kulturskabte forhold er gennemgået i kapitel 3 i denne anvisning.
2. Arealrelaterede tab af næringsstoffer beregnes som beskrevet tidligere i dette kapitel (afsnit 5.2). Ved beregning af baggrundsbidraget benyttes vandtransporten ganget med en repræsentativ vandføringsvægtet næringsstofkoncentration for oplande (vandløb/kilder) uden landbrugs- og punktkildepåvirkning (*Wiggers et al., 1994*).

### 5.3.7 Retention i søer

- 1) Areal og middeldybde samt evt. opholdstid af søer i det opstrøms beliggende søer opgøres.
- 2) Udfra empiriske relationer opgøres tilbageholdelsen af kvælstof (*Kristensen et al., 1990; Windolf et al., 1995*) og fosfor (*Vollenweider, 1976*). Kendes middeldybde og/eller opholdstiden ikke, kan man eventuelt anvende en repræsentativ værdi for tilbageholdelsen (fx medianværdien fra de 31 overvågningssøer i et "tilsvarende" år).

### 5.3.8 Retention i vandløb

Generelt må det konkluderes, at de pt. tilrådighed værende metoder til estimationen af retentionen af fosfor, men også kvælstof i vandløb er forholdsvis dårlige. Dette kombineret med, at den årlige retention i mange vandløb er forholdsvis ringe, har betydet, at man indtil nye metoder og erfaringstal tilvejebringes oftest bør undlade dette led i kildeopsplitningen. Hvis man vurderer, at retentionen kan være væsentlig i det givne vandløbssystem gennemføres kildeopsplitningen både med og uden retention i vandløb.

Det er vigtigt, at der i de kommende år tilvejebringes viden, blandt andet generelle erfaringstal og om muligt mere simple metoder, til vurdering af såvel den årlige retention, som retentionens sæsonvariation gennem året.

### 5.3.9 Atmosfærisk deposition

For søer tilføjes atmosfærisk deposition som en tilførselskilde, denne beregnes på baggrund af erfaringstal: hidtil har depositionen af kvælstof været sat til 20 kg N ha<sup>-1</sup> og depositionen af kvælstof sættes til 0,2 kg P ha<sup>-1</sup>, men nye undersøgelser tyder på, at specielt kvælstofdepositionen med disse tal overestimeres.

Derfor anbefales, det at der anvendes følgende erfaringstal:

15 kg kvælstof-N ha<sup>-1</sup> og 0,1 kg fosfor-P ha<sup>-1</sup> (baseret på Hovmand *et al.*, 1993 og Fagdatacenter for Luft, pers. opl. 1997). Der vil dog formentlig være baggrund for at foretage en geografisk differentiering.

Det er samtidigt vigtigt, at det tydeliggøres hvilke erfaringstal der er benyttet. Fagdatacentret for Luft vil snart foretage en kritisk vurdering af de hidtige målinger og erfaringstal for hurtigst muligt at kvalificere og eventuelt korrigere de nuværende erfaringstal.

## 5.4 Umålt opland

Er omtalt i kapitel 4.

## 5.5 Tidsopløsning

En kildeopsplitning gennemføres typisk på kalenderår eller eventuelt hydrologisk år. Ved vurderingen af de enkelte kilders betydning og eventuelle udvikling er årsniveau, som hovedregel, den tidsopløsning, der giver det bedste resultat. Dog vil det ofte være muligt også at gennemføre kildeopsplitningen på månedstransporter af næringsstoffer. Sikkerheden på denne opgørelse er dog generelt væsentlig mindre end for årsniveauet. Det skyldes især større usikkerhed på bestemmelse af stoftransporten på månedsniveau, end på årsniveau, samt større usikkerheder ved bestemmelsen af kildebidrag over året (fx spredt bebyggelse), samt stoftilbageholdelse og -frigivelse.

I en række tilfælde kan det dog være relevant at opgøre kildeopsplitninger på månedsniveau. Kombineres kildeopsplitninger med miljøtilstanden i søer eller fjorde, hvor sæsonvariationen i stoftilførsel kan være af stor betydning, kan der være væsentlig informationer i en kildeopsplitning på månedsniveau. Eventuelle konklusioner skal naturligvis drages med behørig hensyn til den mindre sikkerhed, der kan opnås for kildeopsplitningen på månedsniveau, set i forhold til årsniveau.

## 5.6 Eksempel på kildeopsplitning

Nedenstående tabel er et eksempel på kildeopsplitning af kvælstof og fosfortilførslen til Ravn sø i Århus amt. De beregningsmæssige detaljer fremgår af Århus amtskommune (1997).

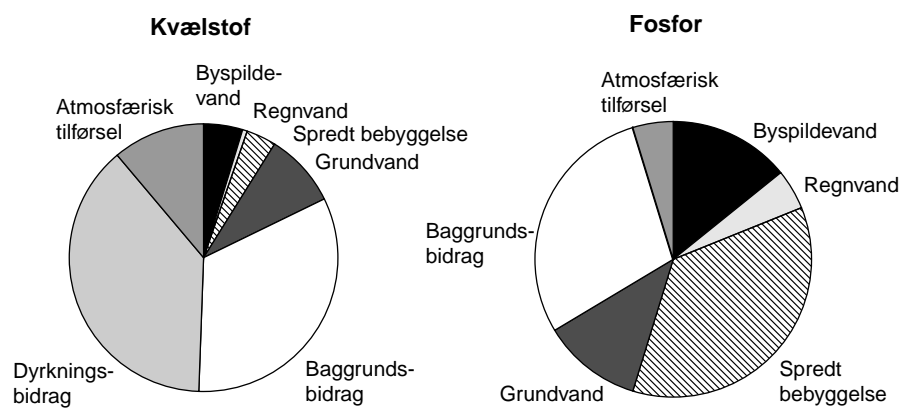
Eksemplet illustrerer, at dyrkningsbidraget kan estimeres til at være negativt. I dette tilfælde er årsagen givetvis en kombination af, at fosfortilførslen fra spredt bebyggelse blev overestimeret i det tørre år 1996, og at fosfortilførslen blev underestimeret ved punktprøvetagningen. Beregningerne af de dyrkningsbetingede tilførsler i mange mindre vandløb med stor vandføingsvariation (lerede oplande) kompliceres af, at der sker en ikke ubetydelig underestimering af den sande fosfortransport, ved den gængse punktvis prøvetagningsstrategi. Problemet med urealistisk lave eller endog negativt beregnede dyrkningsbetingede fosforudledninger er specielt hyppige i mange østdanske vandløb. Der er imidlertid ingen enkel løsning på dette problem, hvorfor kildeopsplitningen skal foretages som ovenfor anført. I tolkningen af data, skal man dog være nøje opmærksom på de faktorer, der kan influere på resultatet af en kildeopsplitning.

*Table 1* Kildeopsplitning af kvælstof- og fosfortilførslen til Ravn Sø 1996. Data fra Århus amtskommune (1997).

Ravn Sø 1996	Kvælstof (tons pr. år)	Fosfor (kg pr. år)
Bypildevand	1,55	105
Regnvandsbetinget	0,15	37
Industri	0	0
Dambrug	0	0
Spredt bebyggelse	1,19	267
Grundvand	2,90	88
Baggrundsbidrag	10,76	215
Dyrkningsbidrag	12,53	-69
Atmosfærisk tilførsel	3,64	36
Total tilførsel	32,72	679

Data fra kildeopsplitninger kan fx præsenteres som lagkagediagram for at illustrere de enkelte kilders relative betydning, i figur 5.1 er kildeopsplitningen for Ravn Sø 1996 vist.

Tidsserie kan fx præsenteres som søjlediagrammer med kildeopsplittede data. Det vil være en god ide at præsentrere vand også (væsentlig forklarende parameter). Se vedlagte eksempel.



Figur 5.1 Kildeopsplitning af kvælstof- og fosfortilførslen til Ravn Sø 1996 (se også tabel 2). Data fra Århus amtskommune (1997).



*[Tom side]*

# 6 Metode til opsætning af nedbørs- og afstrømningsmodel på oplande

## 6.1 Indledning

I forbindelse med analyser af stofstrømme indenfor vandløbsoplande er der behov for en grundlæggende viden om det aktuelle oplands hydrologiske kredsløb og respons på nedbør i form af tilstrømning af vand fra forskellige jordmagasiner til overfladevand. I forhold til beskrivelse af kvælstof- og fosforstrømme fra jord til overfladevand er der behov for at kunne kvantificere betydningen af de forskellige veje vand kan strømme gennem fra det falder på jordoverfladen og til det når overfladevand. Det drejer sig forsimplet om tre transportveje (afstrømningskomponenter) nemlig grundvand, strømning gennem umættet zone og overfladisk afstrømning. Især i lerede oplande kan der også forekomme en hurtig vandstrømning gennem makroporer og sprækker til dræn.

En kvantificering af betydningen af de enkelte strømningsveje for vand indenfor et vandløbsopland er afgørende for en analyse af kvælstof- og fosforstrømmene fra jord til overfladevand og dermed for den målte koncentration og transport i det overfladevand der forlader oplandet. Den del af vandet som strømmer af oven på jorden i et vandløbsopland har normalt en meget lav koncentration af uorganiske kvælstofforbindelser pga. den ringe kontakt med jorden. Derimod kan indholdet af både opløst og partikelbundet fosfor være højt. Vandet der strømmer af fra grundvand har opholdt sig en kortere eller længere tid i jorden og har derfor stor mulighed for at have været udsat for forskellige bio-geokemiske processer som denitrifikation af nitrat, sorption af fosfor til jern- eller aluminium hydroxider eller eventuel frigivelse af fosfor fra geologiske aflejringer. Er der tale om makropore strømning i vandløbsoplandet kan store mængder partikelbundet fosfor transporteres med vandet fra jordoverfladen til dræn og derefter direkte til overfladevand.

En standardiseret hydrografopsplitning med anvendelse af en nedbørs- og afstrømningsmodel (NAM) giver mulighed for at opdele overskudsnedbøren i et opland på de forskellige afstrømningskomponenter. Dette gennemføres under hensynstagen til, at den overordnede vandbalance for oplandet skal stemme over længere perioder. Opsætning af vandbalancen giver således den overordnede hydrologiske karakteristik af oplandet inklusiv viden om eventuel fraførsel af vand fra oplandet via grundvandsudsivning til andre områder og vandindvinding. Kalibreringen af vandstrømningen fra de enkelte magasiner ud fra den tidslige variation i vandføringen i vandløbet beskriver den hydrologiske respons i oplandet med de gældende topografiske, hydrogeologiske og arealanvendelsesmæssige forhold.

Resultaterne af den standardiserede hydrologiske modellering kan efterfølgende anvendes til analyse af kvælstof- og fosforkoncentrati-

oner og -tab fra hele oplandes over tid (fx måned), set i forhold til betydningen af de enkelte afstrømningskomponenter. Den hydrologiske modellering kan også udnyttes til at indgå i trendanalyser af kvælstof- og fosfor, hvor den tidsmæssige betydning af de enkelte afstrømningskomponenter inddrages. Endelig er den hydrologiske modellering udgangspunktet for vurderinger af eventuelle forskelle i omsætningen af kvælstof i underjord indenfor vandløbsoplande. Endelig vil den hydrologiske modellering være et afgørende redskab i scenariebetrægtninger for konsekvenser af ændret arealanvendelse og dyrkningspraksis indenfor oplandet med udgangspunkt i forskellige klimatiske år (ekstrem klimatiske år og normalt klima).

I dette afsnit vil en metode til opsætning og kalibrering af nedbør-afstrømningsmodellen, NAM, blive præsenteret. NAM modellen er udviklet på Institut for Strømningsmekanik ved DTU i 70'erne (*Pedersen, M.L., 1995*). De overordnede principper er de samme for alle nedbør-afstrømningsmodeller af den områdeintegrerende type, så gennemgangen dækker overordnet andre lignende modeller. Der vil være forskel især på muligheden for forskellige output data og grafisk præsentation af resultater, som varierer meget fra model til model. Desuden vil selve kalibrerings proceduren kunne være anderledes ved andre modeller end NAM modellen.

## 6.2 Modelopbygning

NAM modellen er en såkaldt deterministisk-konceptuel-områdeintegrerende model. At NAM modellen er områdeintegrerende betyder, at nedbørsoplandet opfattes som én lukket enhed, og alle parametre og variable er således gennemsnitsværdier for hele oplandet.

Modellen er baseret på reelle fysiske strukturer i oplandet, og simulerer det hydrologiske kredsløb vha. fire forbundne magasiner, hvor der kontinuerligt tages højde for vandtilførsel, indhold og afstrømning. Simuleringen foregår vha. fysisk baserede ligninger, kombineret med semi-empiriske sammenhænge. De enkelte betegnelser i figurer er forklaret senere i dette afsnit.

## 6.3 Krav til input data

Pålideligheden af en beregning med en hydrologisk model er ikke bedre end kvaliteten af data, der bruges som input til den. Derfor er validering af input data et særdeles vigtigt element i opsætningen af den hydrologiske model.

Oplandene, som der skal arbejdes med i NOVA 2000 har alle en tidsserie af vandføringsdata som går tilbage til mindst 1989, således at der som minimum er en 8 års periode til rådighed til kalibrering og aftestning af modellen. I enkelte oplande vil der være en længere tidsserie til rådighed.

Da alle parametre i modellen ikke har nogen direkte fysisk betydning, er det nødvendigt med en standardiseret opsætning af NAM

modellen, således at der skabes grundlag for at kunne sammenligne resultaterne på tværs af oplandene.

Når man beregner afstrømning på oplande i størrelsesorden 10 km<sup>2</sup>, bør der ideelt set være data fra en 20 års periode for at gennemføre en kalibrering. Da der i denne sammenhæng som minimum er 8 år til rådighed er det nødvendigt at gøre sig visse overvejelser omkring begrænsningerne i input data, og hvor store afvigelser man vil acceptere i modelberegningen. Disse overvejelser bliver præsenteret i forbindelse med beskrivelserne af input- og outputdata fra modellen.

For at sikre en ensartet opsætning af modellen på oplandene er det nødvendigt med en indledende ensartet hydrologisk analyse af oplandene, således at det bedst muligt sikres, at der er overensstemmelse mellem grundlaget for modelleringerne.

### **6.3.1 Nedbørstidsserie**

Nedbøren angives på dagsbasis for en station repræsentativ for området. Den absolut bedste løsning er at benytte flere stationer i området og beregne middelnedbøren vha. Thiessen-polygoner, eller en lignende metode. På denne måde opnås et bedre repræsentativt billede af nedbørsforholdene i området, idet der benyttes flere stationer. Hvis der ikke foreligger målinger i det pågældende opland, kan benyttes nedbøren fra det landsdækkende gridnet (Statens Jordbrugsforskning, Afdeling for arealdata & DMI) eller DMIs landsdækkende net af målestationer.

Der kan være store lokale variationer i nedbørsmængderne, så derfor er det en god ide at verificere sine data, ved at sammenligne med omkringliggende stationer. Desuden skal nedbøren korrigeres for "wetting tab", vindpåvirkning og fordampning fra måleren.

### **6.3.2 Fordampningstidsserie**

Modellen benytter oplysninger om den daglige potentielle evapotranspiration. Den potentielle fordampning sættes i relation til jordvandsindholdet i rodzonen, hvorved den aktuelle fordampning i oplandet beregnes af modellen. Potentiel fordampning kan findes via det landsdækkende gridnet (Statens Jordbrugsforskning, Afdeling for arealdata & DMI).

### **6.3.3 Afstrømningstidsserie**

Til kalibrering af modellen benyttes som minimum vandføringsdata fra målestationen ved udløbet af oplandet. Vandføringsdata skal derfor foreligge som døgnmiddelvandføring i perioden 1989-97 i det pågældende opland.

### **6.3.4 Jordtype karakteristika**

Jordbundsforholdene i oplandet har betydning for hvor meget vand jorden kan indeholde, og har derfor stor betydning for fastsættelsen af bl.a. vandindholdet i den umættede zone. En minimumsværdi for det maksimale jordvandsindhold i den umættede zone,  $L_{\max}$ , kan

estimeres ved at beregne den plantetilgængelige vandmængde i rodzonen. Dette er lig med forskellen mellem en given jordtypes indhold ved markkapacitet ( $pF = 2,5$ ) og ved visnegrænsen ( $pF = 4,2$ ) multipliceret med den effektive roddybde for en given afgrøde på arealet. Da den umættede zone kan have større mægtighed end rodzonens udbredelse, er dette altså en absolut minimumsværdi for  $L_{\max}$ . En maksimumsværdi for den specifikke ydelse  $S_y$  kan fås ved at beregne forskellen i vandindholdet i mættet tilstand ( $pF = 0$ ) og ved markkapacitet. I bilag 1 er givet eksempler på værdier for vandindholdet i forskellige jordtyper ved markkapacitet, visnegrænse og i mættet tilstand. I bilag 2 er givet forskellige roddybder på forskellige jordtyper.

### 6.3.5 Dræningsforhold

Det er særdeles nyttigt at have information om især omfanget af dræning i nedbørsoplandet, idet en del af drænafstrømningen kan opfattes som en del af den hurtige komponent på afstrømningshydrografen. I mange nedbørsoplande i Danmark stammer en del af den hurtige afstrømning hovedsageligt fra drænedede arealer hvor vandet, som by-pass flow, hurtigt når vandløbet. By-pass flow forekommer naturligt som makropore strømning især på mere lerede arealer. Man kan altså i NAM substituere overfladisk afstrømning med et udtryk for den samlede hurtige afstrømningskomponent, der så består af overfladisk afstrømning og by-pass strømning i makroporer. Hvis man har informationer om hvor drænene er placeret i oplandet kan det hjælpe med til at estimere routing parametrene  $CK_1$  og  $CK_2$ , der bestemmer hvor hurtigt afstrømningen når vandløbet.

### 6.3.6 Grundvand

Informationer vedrørende grundvandet i oplandet er vigtige i forbindelse med fastlæggelsen af grundvandsoplandet. Grundvandsoplandets størrelse kan have betydning for om der mistes eller tilføres grundvand til det modellerede opland. En korrekt tolkning af tilførslen af grundvand er særdeles vigtig for modelleringen af afstrømningen i tørre perioder bl.a. om sommeren.

### 6.3.7 Oppumpning af grundvand i oplandet

I oplande hvor der oppumpes grundvand kan mængderne angives i NAM modellen som mm oppumpet grundvand pr. måned (til drikkevand eller vanding).

### 6.3.8 Supplerende hydrologisk viden

Det er nødvendigt at skaffe sig oplysninger om hvordan de tre afstrømningskomponenter, overfladisk/drænafstrømning (quick-flow), interflow og grundvandstilstrømning fordeler sig indbyrdes under afstrømningskurven. Der findes flere metoder til bestemmelse af de enkelte komponenter.

Afstrømningskurver fra drænoplande i det modellerede opland kan medvirke til kvantificering den samlede drænafstrømning fra oplandet. Hvis der haves en længere tidsserie af afstrømningsdata fra

dræn kan drænoplandet forsøges modelleret med eksempelvis NAM modellen. Alternativt kan enkelte hydrografer (enkeltstående nedbørshændelser) på afstrømningskurven analyseres og de tre afstrømningskomponenter separeres.

Interflow komponenten kan være svær at estimere ud fra vandføringsdata. Interflow er den del afstrømningen som generes fra den temporært mættede zone i jorden og som afstrømmes horisontalt. Interflow er hydrologisk set en hurtig grundvandskomponent. Interflow må som regel beregnes som den resterende del af afstrømningen når grundvandsafstrømning og overfladisk afstrømning er kvantificeret.

Grundvandsafstrømningen fra oplandet kan analyseres med udgangspunkt i vandføringskurven. Afstrømningen i den nedbørsfattige sommerperiode kan opfattes som udtryk for grundvandstilstrømningens størrelse. Hvis afstrømningen er ubetydelig i sommerperioden skyldes det sandsynligvis at der tabes grundvand fra oplandet, grundet manglende hydrologisk kontakt mellem grundvandsmagasin og vandløb, oppumpning af grundvand eller en ringe grundvandsdannelse.

## **6.4 Output data**

### **6.4.1 Afstrømning**

NAM modellen beregner afstrømningen for hver dag, fordelt på tre afstrømningskomponenter : Quick-flow, interflow og grundvandstilstrømning. Modellen udskriver måneds- og årstotaler af de tre afstrømningskomponenter.

### **6.4.2 Vandbalance**

Vandbalancens komponenter er i hovedtræk: Afstrømning, fordampning og nedbør. Disse tre komponenters indbyrdes forhold kan justeres ved at ændre på nogle af parametrene i modellen. Når kalibreringen foretages er det i første omgang vigtigt af få vandbalancen til at stemme over en årrække. Ideelt set vil en 10 års periode være det bedste at kalibrere modellen på. Modellen beregner en middelvandbalance over kalibreringsperioden. Når den modellerede afstrømning stemmer overens med den målte afstrømning og vandbalancen samtidig stemmer, kan det indbyrdes forhold mellem de tre afstrømningskomponenter justeres, ved inspicering af både vandbalance og afstrømningskurver. Der kan ikke forventes fuldstændig overensstemmelse mellem den målte og den modellerede afstrømning, grundet modellens simple udformning.

### **6.4.3 Andre output data**

Der kan udtrækkes en række tidsserier fra NAM modellen til støtte ved kalibreringen af modellen, bl.a. jordvandsindholdet i den umættede zone (L), vandindholdet i overflademagasinet (U), infiltration, grundvandsspejlets dybde, samt en række andre tidsserier.

## 6.5 Opsætning , kalibrering og afestning af model

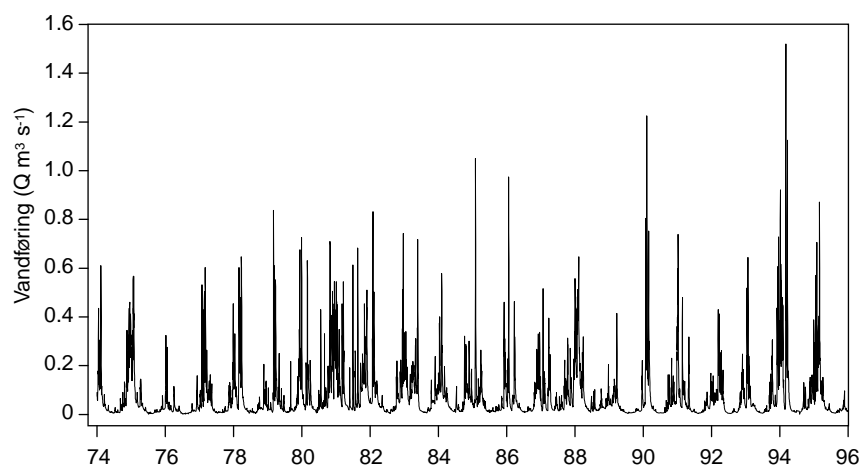
I dette afsnit vil der blive gennemgået et konkret eksempel på en modellering med NAM modellen. De ovenfor beskrevne metoder til analyse af de hydrologiske forhold vil blive eksemplificeret således at de efterfølgende skulle kunne overføres på andre oplande.

Gelbæk oplandet ligger i Gjern å oplandet i den østlige del af Jylland. Oplandets areal er 11,2 km<sup>2</sup>. Cirka 50 % af oplandet er drænet. Der findes to typer af dræn i området; den ene type er fuldstændig uden påvirkning af grundvand, mens den anden type har et mindre tilskud af grundvand. De to typer af dræn er anslået til at udgøre hver 25 % af oplandets samlede areal. Flere vandløb i Gjern å-systemet og Lyngbygård å-systemet syd herfor ligger dybere nedgravet i landskabet end Gelbæk. Dette kombineret med de geologiske forhold i den øvre del oplandet, gør at Gelbæk mister en stor del af baseflowstrømningen til andre vandløb i oplandet. Oplandet der bidrager med baseflow udgør ifølge beregningerne i NAM ca. 30 % af det topografiske opland.

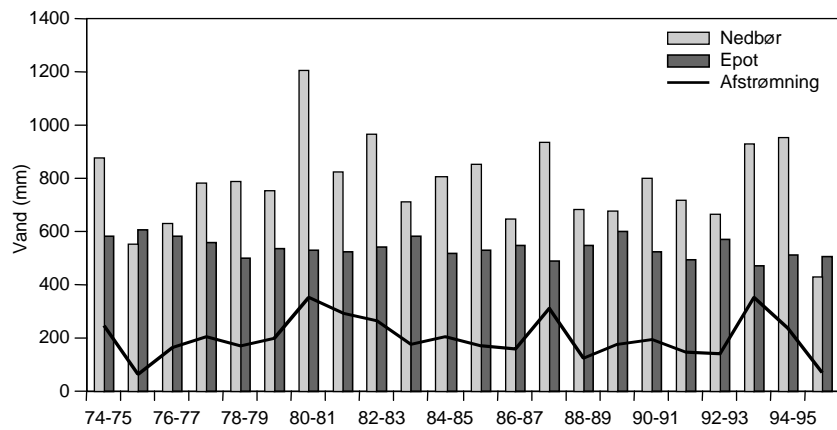
De geologiske aflejringer i oplandet består primært af lerede moræneaflejringer, med indslag af sandede fluviale aflejringer. Jordens tekstur i oplandet er ifølge Basisdatakortet over området primært FK 3 og 4 - altså lerblandet sandjord og sandblandet lerjord.

Til brug ved modelleringen i Gelbæk oplandet findes en vandføringstidsserie der går tilbage til 1973. Dette er unikt set i forhold til de 25 oplande, hvor modelberegningerne skal foretages. Det tilstræbes i gennemgangen af metoderne at tilpasse alle tiltag til oplande med kortere tidsserier.

I figur 6.1 er vist døgnmiddel vandføring, for perioden 1984 til 1994 og i figur 6.2 er vist nedbør, potentiel fordampning og afstrømning på hydrologisk årsbasis i hele perioden 1974 til 1996. Data for nedbør og fordampning er hentet fra det landsdækkende gridnet (Statens Jordbrugsforskning, Afdeling for arealdata & DMI).



Figur 6.1. Vandføring i Gelbæk - Lyngbybro 1986 - 1996.



Figur 6.2. Nedbør afstrømning og Potentiel fordampning i de hydrologiske år 1974-75 og frem til 1995-96.

### 6.5.1 Kalibreringsprocedure

1. Hydrologiske analyse af oplandet (dræningsforhold, afstrømningsforhold, grundvand, klimatiske forhold i perioden der skal modelleres mv.).
2. Opdeling af tidsseriedata i kalibrerings- og afteningsperiode.
3. Kvalitetskontrol af tidsserie data.
4. Første (forsøgsvis) parameterfastlæggelse ud fra de fysiske forhold i oplandet.
5. Hydrografanalyse på afstrømningstoppe i sommerperioder i kalibreringsperioden.
6. Kalibrering af vandbalancen i kalibreringsperioden (fordeling mellem quick-flow og interflow / grundvandstilstrømning)
7. Kalibrering af grundvandstilstrømningen i sommerperioderne.
8. Kalibrering af afstrømningstoppe i efterårs- og vinterperioder uden sne.
9. Kalibrering af vintre med snesmeltning (flom situationer).

Kalibreringen foretages numerisk, således at der er god overensstemmelse mellem den målte afstrømning og den simulerede afstrømning. Den modellerede vandbalance skal også passe. Der kan ikke altid opnås fuldstændig overensstemmelse mellem målt og simuleret afstrømning samtidig med at vandbalancen stemmer fuldstændigt.

Vandbalancen som modellen beregner ser således ud:

$$N = E_{\text{akt}} + A_o + A_i + A_g + \Delta G + I_c$$

Hvor : N = nedbør;  $E_{\text{akt}}$  = aktuel fordampning;  $A_o$  = overfladisk afstrømning;  $A_i$  = interflow;  $A_g$  = Grundvandsafstrømning,  $\Delta G$  = Tilstrømning til grundvandet og  $I_c$  = Indvinding af grundvand til drikkevand eller vanding.

Kalibreringen af sommer vandføringen sker ved at sammenligne den målte og den simulerede afstrømningskurve, både visuelt og numerisk. Vandføringstoppene kalibreres numerisk og visuelt for hele perioden. Det kan være nødvendigt at træffe et valg i forbindelse med kalibreringen, om man vil kalibrere enkelte vandføringstoppe meget nøjagtigt, eller man vil acceptere små afvigelser på alle toppe, for at



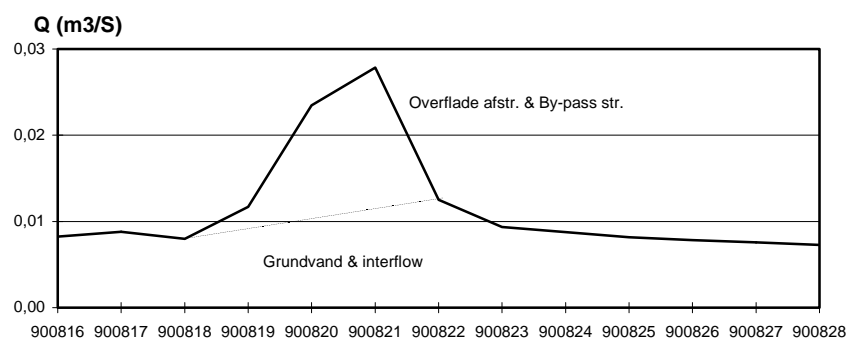
få vandbalancen til at stemme. Hvis en stor del af afstrømningen falder i enkelte toppe kan det være en fordel at vælge at kalibrere efter disse.

### 6.5.2 Hydrograf analyse

For at få et estimat af forholdet mellem den hurtige afstrømningskomponent og grundvandsafstrømningen er det nødvendigt at analysere nogle hydrografteroppe i sommerperioderne. Ved hydrograf separationen adskilles hydrografen i en langsom afstrømningskomponent som indeholder både grundvandstilstrømning og interflow, og i en quick-flow komponent som indeholder overfladeafstrømningen og by-pass- og drænastrømning. I det følgende er givet et eksempel på opdeling af en hydrograf i en hurtig komponent og langsom komponent i Gelbæk oplandet.

Det bedste resultat opnås, hvis man adskiller en hydrograf, som fremkommer efter en længere periode uden nedbør, således at afstrømningen fra oplandet før hændelsen udelukkende består af grundvandstilstrømning. På denne måde sikres det at hele den hurtige afstrømningskomponent adskilles. Ved adskillelse af hydrografen opnås en relativ fordeling mellem komponenterne. Den mest præcise fordeling opnås hvis der adskilles flere hydrografer og middelværdien for den relative fordeling udregnes. I nedenstående eksempel er valgt en hydrograf i sommeren 1990 :

1. Vandføringskurven over den valgte periode udtegnes.
2. Der laves et logaritmisk plot af hydrografens recessionskurve mod tiden. Punktet hvor recessionskurven bliver til en ret linie markeres. Dette punkt angiver hvornår afstrømningen bliver eksponentielt aftagende og grundvandsafstrømningen igen overtager afstrømningen fra oplandet.
3. Grundvandsafstrømningskurven adskilles ved at tegne en ret linje fra det punkt hvor hydrografen begynder at stige og frem til det punkt hvor recessionskurven bliver eksponentielt aftagende (figur 6.3).



Figur 6.3. Hydrograf adskillelse sommeren 1990 - Gelbæk, Lyngby Bro.

Det første knæk på kurven kan tolkes som punktet hvor interflow overtager afstrømningen i oplandet. I dette tilfælde regnes interflow som en del af den langsomme afstrømning, og derfor er det ikke adskilt separat.

Når hydrografen er opdelt i de to komponenter, findes forholdet mellem de to komponenter ved beregne mængden af hver af afstrømningskomponenterne, samt den samlede afstrømning. Princippet er vist i nedenstående tabel.

Tabel 6.1. Hydrograf adskillelse - sommeren 1990 Lyngby Bro Gelbæk.

Dato	$Q_{\text{Total}}$ $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$	$Q_{\text{Grundvand-interflow}}$ $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$	$Q_{\text{Overflade}}$ $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
18/8/90	0,0080	0,0080	0
19/8/90	0,0117	0,0091	0,0026
20/8/90	0,0235	0,0103	0,0132
21/8/90	0,0278	0,0113	0,0165
22/8/90	0,0125	0,0125	0
23/8/90	0,0093	0,0093	0
Total over 6 dage	7271 $\text{m}^3$	4484 $\text{m}^3$	2787 $\text{m}^3$
Relativt	100 %	62 %	38 %

På baggrund af flere hydrograf analyser blev en middelværdi for fordelingen mellem den hurtige afstrømningskomponent og grundvandsafstrømningen bestemt til hhv. 34 % og 66 %.

Som alternativ metode kan den hurtige afstrømningskomponent modelleres særskilt med NAM modellen. Ved en modellering af den hurtige komponent fra to drænoplande, hver repræsenterende 25 % af oplandet, blev den samlede hurtige afstrømningskomponent beregnet og sammenlignet med den hurtige komponent fra modelleringen af hele oplandet. Resultatet viste at det kan lade sig gøre at modellere den hurtige komponent med kendskab til drænafstrømningen og udbredelsen af det drænedede areal i oplandet, idet de to modelleringer gav tilnærmelsesvis samme værdi. Resultatet af denne modellering er vist i Appendiks B.

### 6.5.3 Initial parametertildeling i NAM modellen

Dette afsnit er en systematisk gennemgang af den initiale parameter tildeling og de overvejelser og beregninger der ligger bag denne.

En minimumsværdi for det maksimale vandindhold i den umættede zone,  $L_{\text{max}}$ , kan beregnes ved brug af bilag 1 og bilag 2 samt viden om hvilken jordtyper findes i oplandet. De dominerende jordtyper er sandblandet lerjord og lerblandet sandjord. På baggrund af forskellige roddybder for forskellige afgrøder /arealanvendelser kan minimumsværdien for  $L_{\text{max}}$  fastsættes til 100 mm. Initial sættes  $L_{\text{max}}$  til 150 mm. Initialt sættes  $U_{\text{max}}$  således til 15 mm, jvf. (D.H.I., 1990). Grundvandsmagasinets specifikke ydelse  $S_y$  sættes til 0,10 hvilket svarer til en aquifer af den pågældende jordtype.

Overfladeafstrømningskoefficienten,  $CQ_{\text{OF}}$  sættes initialt til 0,50 da jordtypen i oplandet er rimelig permeabel. Denne parameter varierer sjældent meget fra 0,50 i mindre opdyrkede dansk oplande. De tre tærskelværdier,  $T_{\text{OF}}$ ,  $T_{\text{IF}}$  og  $T_{\text{G}}$  sættes også som udgangspunkt til 0,50. Disse varierer ikke meget under danske forhold, og vil typisk ligge i intervallet 0,40 - 0,60.

Tidskonstanterne til fastlæggelse af vandets gennemsnitligeopholdstid i oplandet for de forskellige afstrømningskomponenter er det ikke muligt at fastlægge ud fra fysiske parametre i oplandet. Disse parametre har ingen indflydelse på vandbalancen på årsbasis, og kan når vandbalancen er i nogenlunde overensstemmelse kalibreres ind ved at fokusere på afstrømningstoppe og grundvandstilstrømningen i sommermånederne. Tidskonstanten for interflow blev sat til 200 timer. Tidskonstanter for overfladeafstrømning blev sat til 30 timer. Tidskonstanten for grundvandsafstrømning blev sat til 2000 timer.

For at få en rimelig grundvandsafstrømning er det vigtigt at få fastlagt grundvandsspejlet variationsbredde. Dette gøres med parametrene  $GWLBF_0$  og  $GWL_{min}$ . Disse sættes til hhv. 0 m og 10 m og den kapilære flux inddrages ved at sætte parameteren  $GWLFL_1$  til 1,00 m. Ved at sætte  $GWLBF_0$  til 10 m varieres grundvandstilstrømningen over året med varierende grundvandsspejl og samtidig sikres det at der kun i meget tørre perioder ikke er grundvandstilstrømning. Ved at sætte  $GWL_{min}$  til 0,00 m kan grundvandsspejlet nå jordoverfladen i ekstremt våde perioder, som eksempelvis i flomsituationer.

#### 6.5.4 Kalibrering af modellen

Kalibreringen af modellen foretages med en såkaldt "splitsample" test hvor kalibreringsperioden deles op i to uafhængige perioder. Modellens parametre kalibreres ind på den første del af perioden (kalibreringsperioden), og parametrene testes på den anden del (af-testningsperioden). Er der overensstemmelse mellem resultaterne accepteres kalibreringen.

Kalibreringsperioden strakte sig fra 1.6. 1974 til 31.5. 1984. I bilag 3, figur 3 - 7 er vist resultaterne af modelkørslen som tidsserie plot. I figur 6.4 er vist den endelige parameter tildeling.

A.5.1.1	NAM PARAMETERS	Subcatchment	:	GELBÆK
	Area of subcatchment			11.2 km2
	Maximum water content in surface storage			20.0 mm
	Maximum water content in root zone storage			250.0 mm
	Overland flow runoff coefficient (0-1)			0.40
	Time constant for interflow			600 hours
	Root zone threshold value for overland flow (relative)			0.85
	Root zone threshold value for interflow (relative)			0.80
	Degree day coefficient (mm/centigrade/day)			2.0
	Time constants for routing inter- and overland flow			15.0 hours
				15.0 hours

<Esc> : Continue to next NAM parameters menu. <F1> : Help Menu

Figur 6.4a. Endelig parametertildeling for Gelbæk oplandet.

A.5.1.2	NAM PARAMETERS	Subcatchment	:	GELBÆK
GROUND WATER :				
	Ratio of groundwater catchment area to topographical catchm.		:	0.30
	Root zone threshold value for groundwater recharge (relative)		:	0.40
	Specific yield of groundwater reservoir		:	0.050
	Time constant for routing baseflow		:	2000 hours
	Minimum groundwater depth		:	0.00 metre
	Maximum groundwater depth causing baseflow		:	10.00 metre
	Seasonal variation of this depth ?		(Y/N)	: N
	Groundwater depth for unit capillary flux		:	1.00 metre
	Change ground water abstraction data ?		(Y/N)	: N
<Esc>: Return				<F1>: Help

Figur 6.4b. Endelig parametertildeling for Gelbæk oplandet.

Ved kalibreringen af vandbalancen er det primært den aktuelle fordampning der først skal kalibreres ind. Dette gøres ved at justere på vandindholdet i den umættede zone,  $L_{max}$ , og i overflademagasinet,  $U_{max}$ . For at få den rigtige aktuelle fordampning var det nødvendigt at sætte  $L_{max}$  til 250 mm og vandindholdet i overflademagasinet til 20 mm. Den gennemsnitlige modellerede vandbalance for området er vist i tabel 6.2 sammen med værdier for den målte afstrømning.

Tærskelværdierne (TOF, TG, TIF) for afstrømning fra de tre magasiner styrer bl.a. fordelingen mellem de tre afstrømningskomponenter. Den rigtige fordeling fremkom ved at sætte  $T_{OF}$  til 0,85,  $T_{IF}$  til 0,80 og  $T_C$  til 0,40. For at mindske overfladeafstrømningen blev overfladeafstrømningskoefficienten  $CQ_{OF}$  sat ned til 0,40 således at mere vand infiltrerer til den umættede zone.

Den modellerede grundvandsafstrømning var for høj om sommeren. Når dette sammenholdes med viden om at der tabes grundvandsafstrømning til andre vandløb var det nødvendigt at ændre forholdet mellem topografisk- og grundvandsopland til 0,30. For at få grundvandsafstrømningen i sommerperioderne til at stemme blev  $S_y$  sat til 0,05 og tidskonstanten for grundvandsafstrømning til 2000 timer.

Kalibreringen af afstrømningstoppene blev foretaget ved at justere routing parametrene for interflow og overfladeafstrømning,  $CK_1$  og  $CK_2$ , samt tidskonstanten for interflow  $CK_{IF}$ . I kalibreringsproceduren var det nødvendigt at afprøve flere kombinationer af routing parametrene og tærskelværdierne, inden det bedste resultat blev nået. Kalibreringen af afstrømningstoppene blev foretaget ved at toppene på den beregnede afstrømningskurve blev tilnærmet den målte kurve, uden at det gik ud over forholdet mellem de enkelte afstrømningskomponenter.

Ved kalibrering af afstrømningstoppene i vinterperioderne blev der ikke ændret yderligere på parametertildelingen.

*Tabel 6.2.* Gennemsnitsvandbalancen for perioden 1.6.1974 - 31.5.1984 (i alt 10 hydrologiske år).

Nedbør	924 mm år <sup>-1</sup>
Potentiel fordampning	543 mm år <sup>-1</sup>
Aktuel fordampning	460 mm år <sup>-1</sup>
Kapillær flux	2 mm år <sup>-1</sup>
Perkolation til grundvand	315 mm år <sup>-1</sup>
Overfladisk (dræn/hurtig) afstrømning	68 mm år <sup>-1</sup>
Interflow	79 mm år <sup>-1</sup>
Grundvandstilstrømning	78 mm år <sup>-1</sup>
Afstrømning i alt	225 mm år <sup>-1</sup>
Målt afstrømning	215 mm år <sup>-1</sup>

Det samlede nedbørsinput til oplandet er på 924 mm. Heraf fordamper 460 mm. 68 mm bliver til hurtig afstrømning gennem dræn og som by-pass flow. 79 mm bliver til interflow. I alt 315 mm perkolerer til grundvandet, hvoraf 78 mm bliver ført tilbage til vandløbet som grundvandstilstrømning. Resten går til opmagasinering i grundvandet eller føres ud af oplandet som grundvandsbidrag til andre vandløb. Der er en kapillær flux fra grundvandet til rodzonen på 2 mm om året (hvilket er lidt set i forhold til den samlede vandbalance).

Modellens resultat afviger 5 % fra den målte vandføring over perioden på 10 hydrologiske år. Vandbalancens højre side giver i alt 924 mm år<sup>-1</sup>, hvilket er 0,2 % mindre end nedbørsinputtet i modellen. Den beregnede vandbalance og afstrømningen ligger tæt på de målte værdier.

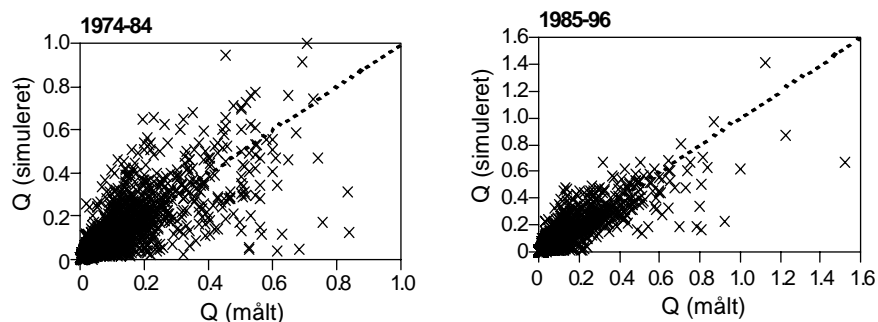
### 6.5.5 Aftestning

Den endelige parametertildeling blev afprøvet på perioden 1.6. 1984 – 31.12. 1997. Ved aftestningen af parametertildelingen blev det ikke fundet nødvendigt at ændre yderligere på værdierne. Resultatet af aftestningen er vist som tidsserier i bilag 3, figur 8 – 12.

*Tabel 6.3.* Gennemsnitsvandbalancen i perioden 1.6. 1984 – 31.5. 1996 (i alt 11 hydrologiske år).

Nedbør	877 mm år <sup>-1</sup>
Potentiel fordampning	515 mm år <sup>-1</sup>
Aktuel fordampning	450 mm år <sup>-1</sup>
Kapillær flux	2 mm år <sup>-1</sup>
Perkolation til grundvand	289 mm år <sup>-1</sup>
Overfladisk (dræn/hurtig) afstrømning	51 mm år <sup>-1</sup>
Interflow	75 mm år <sup>-1</sup>
Grundvandstilstrømning	72 mm år <sup>-1</sup>
Afstrømning i alt	198 mm år <sup>-1</sup>
Målt afstrømning	189 mm år <sup>-1</sup>

Modellens resultat i aflestningsperioden afviger 4 % fra den målte vandføring over perioden på 10 hydrologiske år. Vandbalancens højre side giver i alt  $875 \text{ mm år}^{-1}$ , hvilket er 0,3 % mindre end nedbørsinputtet i modellen. Den beregnede vandbalance og afstrømningen ligger tæt på de målte værdier, og aflestningen af modellen må siges at være tilfredsstillende. Det kan således konkluderes at modellen giver et udmærket resultat i både kalibrerings- og aflestningsperioden, på trods af at de to perioder er klimatisk forskellige.



Figur 6.5. Plot af målt vandføring mod simuleret i Gelbæk i kalibrerings- (a) og aflestningsperioden (b).

Figur 6.5 viser en test, der kan udføres i kalibrerings proceduren. Ved at plotte den målte afstrømning mod den simulerede kan modelleringen tjekkes for systematiske fejl. Hvis punkterne ligger enten over eller under kurven, med hældningen 1 og skæringspunkt i 0,0, er der tale om systematisk fejl i modelleringen. Er punkterne ligeligt fordelt på begge sider af er der ikke en systematisk fejl i simuleringen. Tjek for systematisk fejl kan også udføres ved at lave en regression mellem målt og simuleret vandføring. Regressionskoefficienten  $r^2$  kan således bruges som en indikator for modelleringens nøjagtighed. Jo højere  $r^2$  jo bedre modellering (James et. al, 1982). Regressionsligningen fortæller om der optræder systematiske fejl i modelleringen, hvis hældning afviger meget fra 1 er det nødvendigt at identificere hvor problemet er - er det de høje eller de lave vandføringer der modelleres systematisk forkert. Regressionsligningernes regressionskoefficienter ( $r^2$ ) for de to perioder er hhv. 0,63 og 0,74. Ved justering af parametrene kunne ikke opnås bedre resultater for regressionslinierne, uden at det gik ud over vandbalancen eller toppene på hydrograferne, derfor er dette det bedste bud på en kalibrering af NAM modellen på Gelbæk oplandet.

Det kunne ud fra figur 6.6 se ud som om der er en systematisk undervurdering ved store vandføringer over  $0,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . En nærmere analyse viser, at vandføringen kun i 3 % af tiden var over  $0,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Det er således kun i 200 dage af en simuleringsperiode på 6.900 dage, at de høje vandføringer underestimeres. I dette er indregnet de allerførste ca. 150 dage af kalibreringsperioden, der ikke modelleres specielt godt (ligger enten for højt eller for lavt i plottet). Det er dog stadig en lille procentdel af tiden, at modellen undervurderer ved store vandføringer.

Vandføringerne, der underestimeres, knytter sig generelt til perioder med snesmeltning i oplandet i begyndelsen af foråret. Der er således

tale om, at modellen generelt underestimerer snesmeltningens betydning for vandføringen i Gelbæk. En mulig inddragelse af dette udenfor NAM-modellen vil blive forsøgt foretaget ud fra oplysninger om snemængde (snetakseringer), temperaturforhold og de fremkomne residualer mellem estimerede vandføringer og de målte på dage hvor snesmeltning i måleperioden alt andet lige forekommer.

## 7 Metode til analyse af udviklingstendenser for vandføring, kvælstof og fosfor

### 7.1 Indledning

I dette afsnit beskrives en statistisk metode til test af udviklingstendenser i lange tidsserier af koncentrationsmålinger af kvælstof og fosfor samt for vandføring. Metoden bygger på ikke-parametriske principper og inddrager resultaterne fra nedbørs- og afstrømningsmodellen fra det foregående afsnit.

### 7.2 Metodebeskrivelse

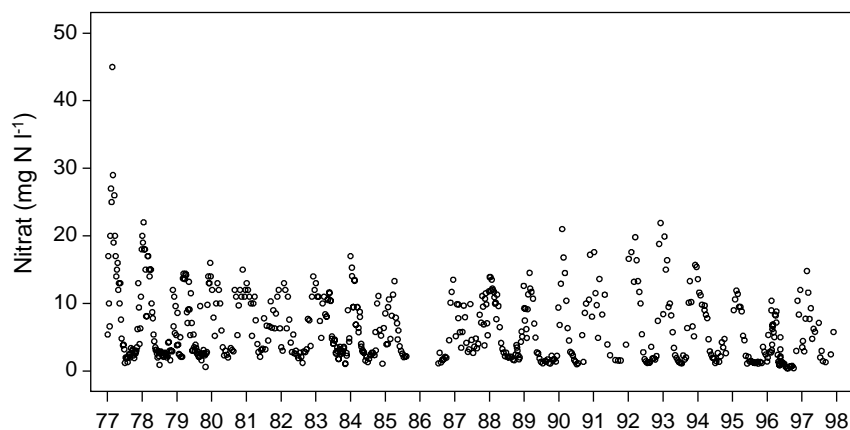
I tidsserier af miljødata så som målinger af kvælstof- eller fosforkoncentrationer i vandløb, er en statistisk fortolkning af udviklingstendenser kompliceret, og ofte kan standard statistiske metoder ikke anvendes. Der er flere grunde til at det er svært at teste for udviklingstendenser i tidsserier af miljødata. Korte eller lange perioder, hvor der ingen målinger er taget, kan forekomme. På grund af prøvetagningsstrategien med prøver taget med fast tidsrum er målingerne ofte stærkt positivt korrelerede, det vil sige at målinger taget tæt på hinanden i tid vil være af omtrent samme størrelse. Klimatiske forhold så som nedbørsfordelingen henover året introducerer sæsonprægede udsving i de målte data. Udsvingene kan tilsløre en langtidsudvikling i vandkvaliteten. Som regel følger data ikke en normalfordeling, og der kan forekomme koncentrationer under detektionsgrænsen, og disse målinger er som regel angivet ved "< detektionsgrænsen". Endelig skal det nævnes, at koncentrationsmålinger i vandløb er stærkt påvirket af vandafstrømningen. Dette vanskeliggør ligeledes analysen af udviklingstendenser, fordi langvarige stigende eller faldende tendenser i vandafstrømningen kan give anledning til udviklingstendenser i vandkvaliteten.

Testmetoden som beskrives her er Kendall's sæson test (*Hirsch et al., 1982, Hirsch og Slack, 1984*). Det er en ikke-parametrisk statistisk metode, som er robust overfor alle de ovennævnte komplikationer. En detaljeret beskrivelse af metoden er givet i Larsen (1998). Til illustration af metoden i denne tekniske anvisning anvendes tidsserierne af nitrat- og total fosforkoncentrationer målt ved Lyngby Bro i Gelbæk, som har et opland på omtrent 11 km<sup>2</sup>, der fortrinsvis er dyrket.

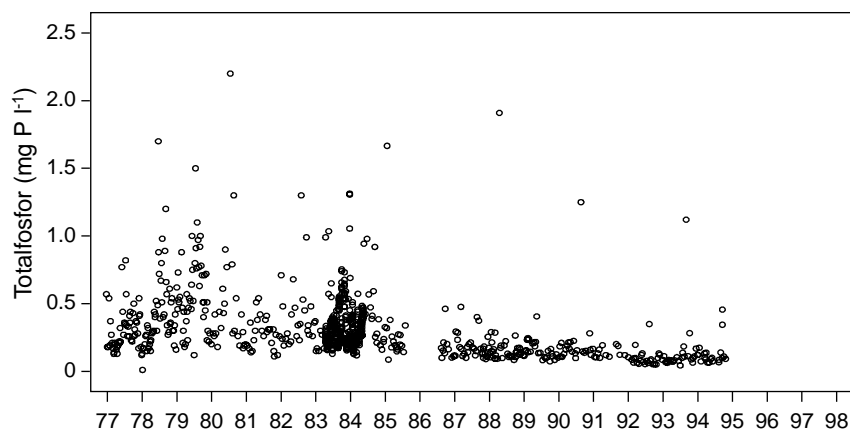
En analyse af udviklingstendenser begynder med et tidsserieplot som viser data plottet mod tidspunktet for dataindsamlingen. Plottet giver en ide om mulige udviklingstendenser, sæsonudsving og ekstreme værdier som man bør kigge nærmere på. Figur 7.1 viser alle de målte nitratkoncentrationer i Gelbæk i perioden 1977-1997. Plottet viser ingen klare udviklingstendenser, men tydelige sæsonudsving med høje koncentrationer om vinteren. Tidsserieplottet med alle



målte total fosforkoncentrationer er vist i figur 7.2, og det viser en tydelig faldende udviklingstendens i perioden og ligeledes sæsonudsving med de højeste koncentrationer i sommerperioden.



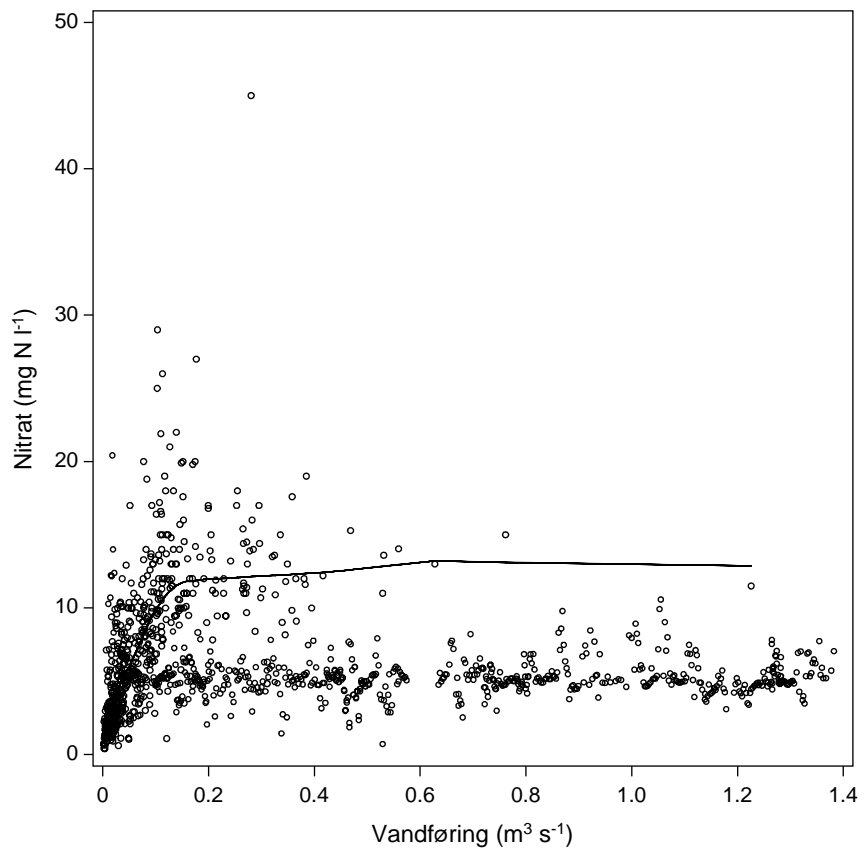
Figur 7.1 Alle målte koncentrationer af nitrat i perioden 1977-97.



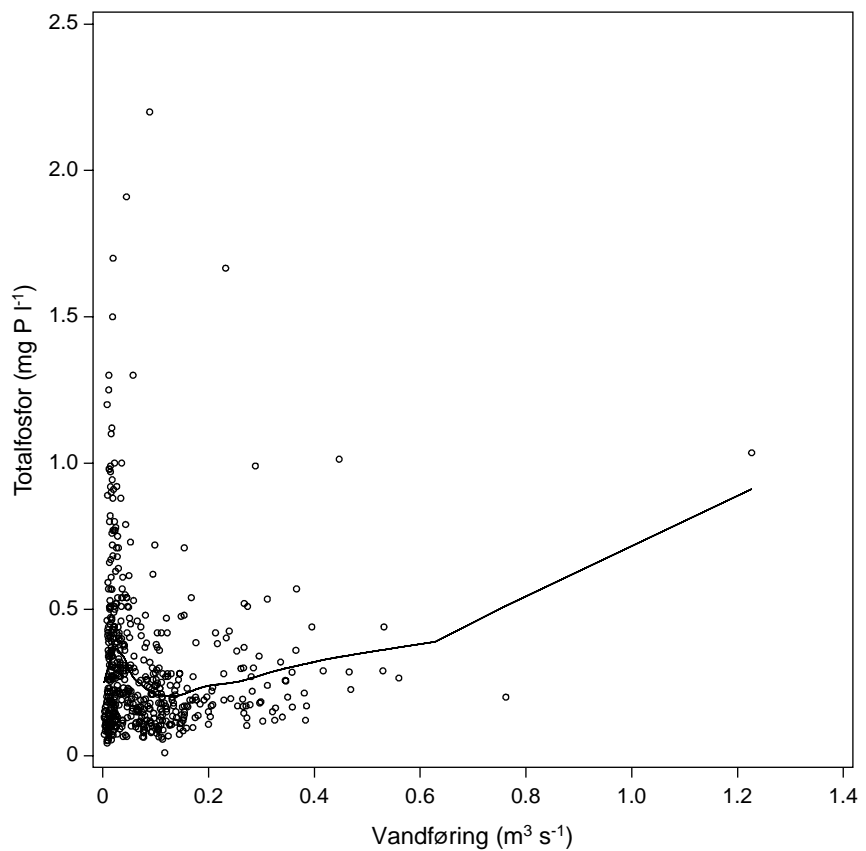
Figur 7.2 Alle målte koncentrationer af total fosfor i perioden 1977-96. To værdier (6,30 mg P l<sup>-1</sup> målt i december 1979 og 3,27 mg P l<sup>-1</sup> målt i november 1986) er ikke medtaget i plottet men inkluderet i de efterfølgende statistiske analyser. For denne tidsserie har vi kun medtaget data til og med 1994.

Som nævnt ovenfor er der en sammenhæng mellem den målte koncentration og vandføringen på måledagen. Sammenhængen modelleres ikke-parametrisk ved anvendelse af LOWESS-regression (LOcally WEighed Scatterplot Smoothing, Cleveland, 1979, Larsen, 1998) mellem de målte koncentrationer og vandføringen. Resultatet af dette er vist i figur 7.3 for nitratkoncentrationer og i figur 7.4 for koncentrationer af total fosfor.

Sammenhængen mellem vandføring og nitratkoncentrationer er et godt eksempel på en  $c-q$  relation med stigende koncentrationer ved stigende vandføringer.



Figur 7.3 LOWESS-regression af nitrat og vandføring i Gelbæk.



Figur 7.4 LOWESS-regression af total fosfor og vandføring i Gelbæk.

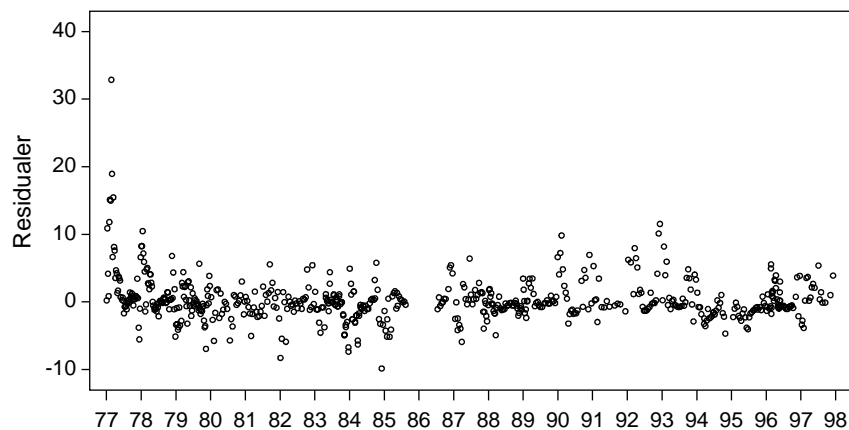
Når det drejer sig om koncentrationer af total fosfor er sammenhængen ved lave vandføringer ( $\leq 1,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) primært en fortyndingskurve

og det vil sige, at koncentrationen falder med stigende vandføringer. Ved høje vandføringer ( $> 1,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) er der en positiv sammenhæng mellem vandføring og fosfor, som det er tilfældet for nitrat.

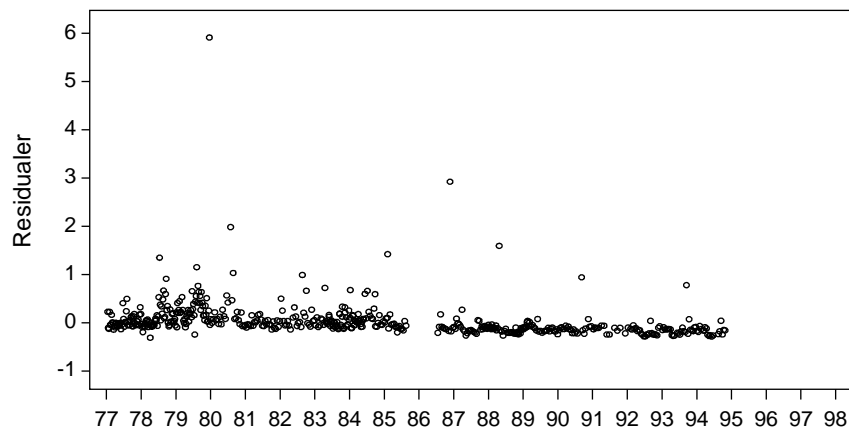
Residualerne fra den modellerede sammenhæng beregnes ved

$$r = x - \hat{x}_{(LOWESS)},$$

hvor  $\hat{x}_{(LOWESS)}$  er estimerede koncentrationer på måledagen ud fra LOWESS-regressionskurven og  $x$  er målte koncentrationer. Residualerne anvendes i den videre analyse af udvikling i koncentrationer. Tidsserierne af residualerne er vist i figur 7.5 og 7.6.



Figur 7.5 Tidsserieplot med residualer beregnet efter LOWESS med nitratkoncentrationer.



Figur 7.6 Tidsserieplot med residualer beregnet efter LOWESS med koncentrationer af total fosfor.

På grund af sæsoneffekten, som vil være til stede i næsten alle tidsserier med vandkvalitetsdata, analyseres hver sæson for udviklingstendenser, og sæsonanalyserne kombineres bagefter til en analyse for hele tidsserien. Derved bliver sæsoneffekten elimineret. Antallet af sæsoner bør normalt vælges til 12, en for hver kalendermåned. Desuden antages, at tidsserierne med residualer har seriel korrelation. Metoder til at påvise sæsoneffekt og seriel korrelation er beskrevet nærmere i Larsen (1998).

Analysemetoden kan kun operere med et datapunkt for hver sæson (oftest måned) for hvert år. Derfor beregnes et gennemsnitlig residual for de sæsoner, hvor der har været målt stofkoncentrationer mere end en gang.

Kendall's sæson test med korrektion for serielt korrelerede data kræver et datagrundlag på minimum 120 observationer, hvilket svarer til 10 års data, når sæson svarer til måneder. Lad  $r_{ij}$  betegne residualen fra år  $i$  og måned  $j$ , og lad  $n$  betegne antallet af år med observationer. Nogle af  $r_{ij}$ 'erne kan være manglende, hvis der ikke er målt i de pågældende år og måneder.

Nulhypotesen som testes ved Kendall's sæson test er, at for hver af de 12 måneder er de  $n$  observationer tilfældigt ordnede, dvs. uden nogen systematik af nogen art. Den alternative hypotese er, at en eller flere måneder har en monoton (enten faldende eller stigende) udviklingstendens.

Man afgør om den samlede tidsserie har en signifikant udviklingstendens ved at beregne teststørrelsen  $Z$  (se *Larsen, 1998*), som vurderes i en normalfordeling med middelværdi 0 og varians 1. Fortegnet af  $Z$  antyder om tendensen er stigende (+) eller faldende (-).

Det er ligeledes vigtigt også at test tidsserien af de vandføringer, der er anvendt til LOWESS-regression af koncentrationerne. Hvis der ikke er en signifikant udviklingstendens i vandføringerne (testet ved anvendelse af Kendall's sæson test), så er analysen af residualerne en effektiv metode til at finde en udviklingstendens i vandkvaliteten. Kan man derimod påvise en signifikant udvikling i vandføringerne, vil en udvikling i residualerne betyde en ændring over tid i  $c-q$  sammenhængen og nødvendigvis ikke i vandkvaliteten.

Er testen for en udviklingstendens faldet signifikant ud, er det muligt at beregne et estimat for størrelsen af tendensen, under antagelse af konstant udviklingstendens og målt som ændring per år. *Hirsch et al. (1982)* introducerede Kendall's sæson hældningsestimat. I *Larsen (1998)* er estimatoren gennemgået detaljeret med formler til beregning af estimat og konfidensintervaller. Hældningsestimatet kan beregnes for hver sæson separat eller også for den samlede tidsserie.

I de to tidsserier fra Gelbæk beregnes  $Z$  til at være -0,712 for nitratkoncentrationer og -3,973 for koncentrationer af total fosfor. Den sidste værdi er statistisk signifikant på et 5 %-niveau ( $P < 0,01$  %). Hvert af de 12 separate månedstest for trend giver ligeledes signifikante negative  $Z$ -værdier og da tidsserien af vandføringer ikke udviser en signifikant udviklingstendens, kan man konkludere, at koncentrationerne af total fosfor falder signifikant i perioden 1977-1994. Hældningsestimatet for den samlede tidsserie af total fosforkoncentrationer beregnes til  $-0,018 \text{ mg P l}^{-1} \text{ år}^{-1}$  og for hver måned, startende med januar, (-0,012, -0,012, -0,012, -0,014, -0,025, -0,029, -0,034, -0,030, -0,021, -0,016, -0,017, -0,018) opgivet i  $\text{mg P l}^{-1} \text{ år}^{-1}$ . Ændringen estimeres altså til at være størst i sommermånederne.

Ændring i stoftransport pr. år (benævnt ved  $\partial T$  og angivet i kg) kan estimeres ved, at man først beregner den gennemsnitlige vandføring i hele perioden ( $\bar{Q}$ , l s<sup>-1</sup>) for så derefter at gange med den estimerede ændring i koncentration pr år (hældningsestimatet, benævnt ved  $\beta$ , mg l<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>), dvs.

$$\partial T = k \cdot \bar{Q} \cdot \beta,$$

hvor  $k$  er en konstant sådan, at enheder kommer til at passe. Det kan blive nødvendigt at udføre dette månedsvis, hvis de enkelte måneder udviser forskellige udviklingstendenser (se Larsen, 1998, for test af homogenitet af sæsonudviklingstendenser).

Den absolutte ændring (benævnt ved  $\Delta T$ , kg) i stoftransport for hele perioden kan estimeres som

$$\Delta T = T_{start} - T_{slut},$$

hvor  $T_{start}$  (kg) er en estimeret transport det første år og beregnet ved

$$T_{start} = k \cdot \hat{x}_{(LOWESS)} \cdot \bar{Q} - \frac{P}{2} \cdot \partial T,$$

hvor  $\hat{x}_{(LOWESS)}$  (mg l<sup>-1</sup>) er estimatet ved LOWESS-regression for koncentrationen ved gennemsnit vandføringen og  $P$  er længden af perioden angivet i år. En estimeret transport (opgivet i kg) for det sidste år i perioden beregnes som

$$T_{slut} = k \cdot \hat{x}_{(LOWESS)} \cdot \bar{Q} + \frac{P}{2} \cdot \partial T.$$

En procentvis ændring i stoftransport (%  $\Delta T$ , kg) beregnet for hele analyseperioden kan estimeres på følgende måde.

$$\% \Delta T = 100 \cdot \frac{\Delta T}{T_{start}}.$$

Her gælder det igen, at hvis de enkelte måneder ikke udviser homogene udviklingstendenser, så skal de ovennævnte beregninger udføres for hver måned separat, for derefter at summeres til et tal. For den samlede tidsserie af total fosforkoncentrationer for man følgende estimater:

$$\partial T = -45,5 \text{ kg år}^{-1}, \Delta T = 819,0 \text{ kg}, T_{start} = 996,3 \text{ kg}, T_{slut} = 177,3 \text{ kg},$$

$$\% \Delta T = 82\%.$$

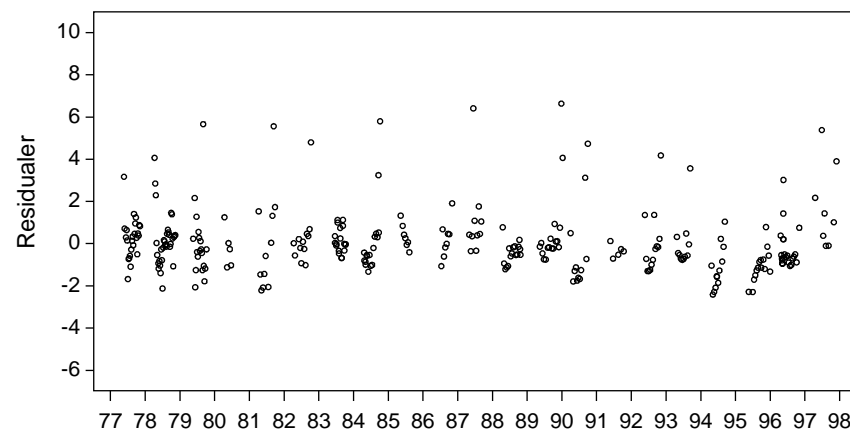
Ved brug af nedbørs- og afstrømningsmodellen (NAM) på et opland som beskrevet i afsnit 6, deles den samlede afstrømning op i tre komponenter, overland flow, interflow og baseflow. Derved får man viden om, hvor meget vand der strømmer til vandløbet fra de forskellige magasiner på ethvert tidspunkt af året og netop også på de

dage, hvor der måles vandkemi i vandløbet. Man er nu interesseret i at teste om stofkoncentrationen i vandet, der stammer fra hver af de 3 komponenter udviser signifikante udviklingstendenser.

Første trin er at kigge på koncentrationer ved baseflow, eller nærmere at analysere residualerne, der er beregnet ud fra sammenhængen mellem koncentrationer og den samlede vandføring. Vi definerer en situation, hvor vandføringen primært består af basistilstrømning fra primære grundvandsmagasiner (baseflow) som

$$\text{baseflow} > 0,9 \cdot \text{vandføring} .$$

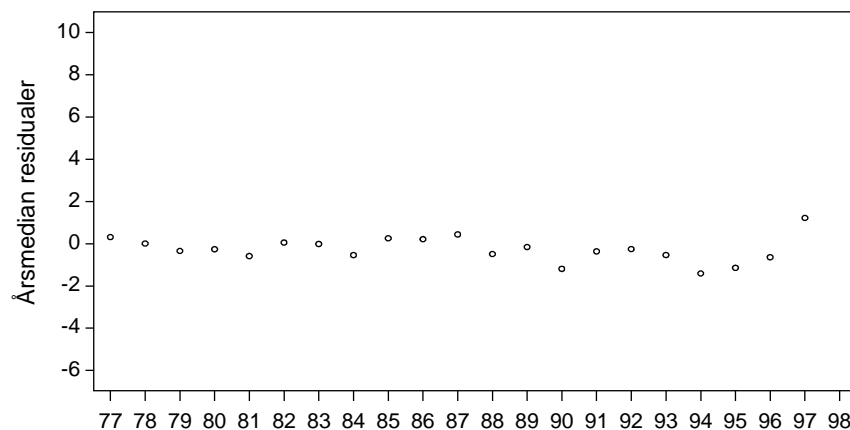
Det vil sige, hvis baseflow komponenten udgør mere end 90 % af den samlede vandføring. Tidsserieplottet med residualer under baseflow situationer for nitratkoncentrationer i Gelbæk er vist i figur 7.7.



Figur 7.7 Plot af residualer under baseflow situationer (nitrat).

Da baseflow situationer som regel optræder i sommerhalvåret er det ikke muligt at opdele tidsserien i sæsoner, og der beregnes derfor i stedet en årsmedianværdi af de residualer, som stammer fra stofkoncentrationer målt under en baseflow situation (se figur 7.8). Derefter testes der for trend i årsmedianværdien ved anvendelse af Kendall's tau (Larsen, 1998), som er lig Kendall's sæson test med kun én sæson.

Tidsserien af årsmedian-værdier har  $Z=-1,540$  som ikke er signifikant på et 5 %-niveau. Det er også vigtigt at teste tidsserien af vandføringer, og tidsserien af årsmedian baseflow-vandføringer har en ikke-signifikant faldende udviklingstendens.

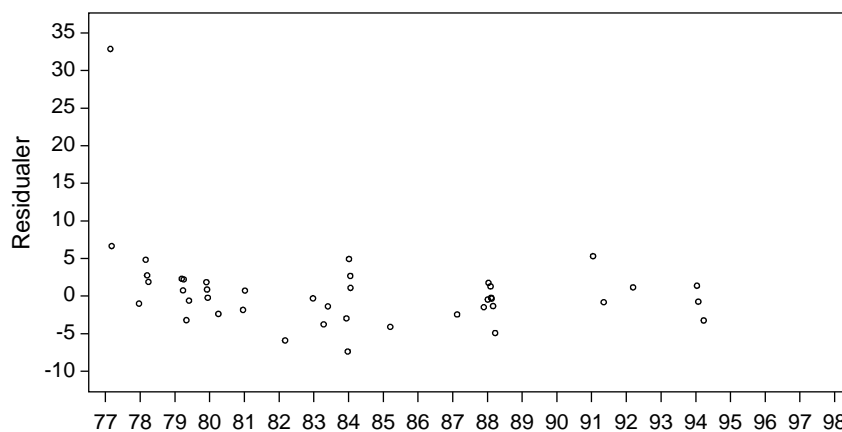


Figur 7.8 Tidsserieplot af årsmedianværdier for residualer under baseflow situationer (nitrat).

Det næste trin består i at analysere situationer med hurtig tilstrømning af vand fra oplandet i form af makropore strømning, overfladisk afstrømning og eventuelt udpresset vand fra vandmættede lavbundsarealer (quick flow). Sådanne situationer defineres til at optræde, hvis

$$\text{quick flow} > 0,5 \cdot \text{vandføring} .$$

Det vil sige, hvis mere end 50 % af vandføringen stammer fra overfladisk/overfladenær afstrømning. Situationer med quick flow finder primært sted i vinter- og forårmåneder (se figur 7.9). Igen beregnes årsmedianværdier og disse testes for udviklingstendenser ved brug af Kendall's tau. Resultatet er  $Z=-0,985$ , som ikke er signifikant på 5 %-niveau. Tidsserien af årsmedian quick flow vandføringer er ligeledes ikke signifikant. Bemærk de få quick flow situationer i den sidste halvdel af perioden.

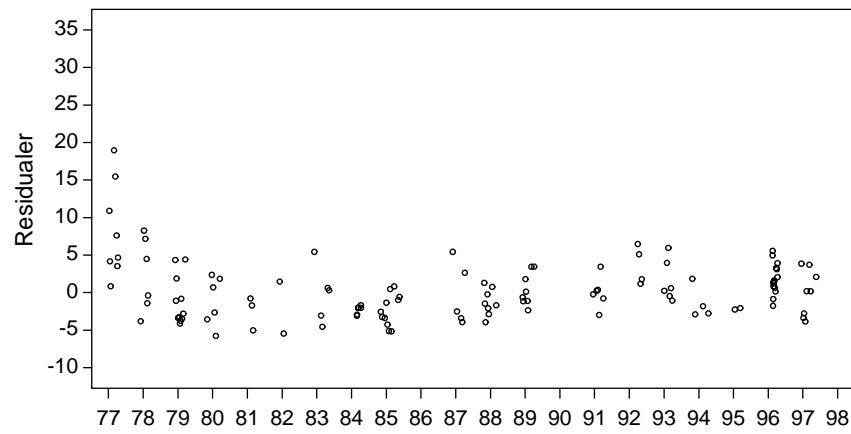


Figur 7.9 Tidsserieplot af residualer, som stammer fra situationer med quick flow, (nitrat).

I det sidste trin analyseres residualer som hører til koncentrationer målt i en situation med tilstrømning af vand primært fra rodzone og sekundære grundvandsmagasiner (interflow). Sådanne situationer defineres til at finde sted, hvis

$$\text{interflow} > 0,5 \cdot \text{vandføring} \text{ og } \text{quick flow} < 0,05 \cdot \text{vandføring} .$$

Sådanne situationer optræder igen primært i vinterhalvåret (se figur 7.10) og der beregnes en årsmedianværdi for hvert år, og tidsserien af årsmedianværdierne testes for udviklingstendenser ved brug af Kendall's tau, som omtalt ved base- og quick flow situationer. Tidsserien af årsmedianværdier er ikke signifikant ( $Z=0,513$ ).



*Figur 7.10* Tidsserieplot af residualer fra situationer med overvejende interflow.

Ændringer i stoftransport per år og den procentvise ændring kan beregnes på en tilsvarende måde som for den samlede tidsserie.



*[Tom side]*

## 8 Metode til oplandsanalyse af kvælstofstrømme i oplande

### 8.1 Indledning

I dette kapitel vil metoder til gennemførelse af oplandsanalyse vedrørende kvælstofstrømme og scenarier herfor blive gennemgået. Der kan i løbet af de næste 1-2 år forventes at blive udviklet nye modeller for især kvælstofleveringen til vandløb og kvælstofomsætningen i underjord under forskellige forskningsprojekter (IMIS-DMU) og (EU-projekt - DMU). Kapitlet vil derfor skulle opdateres i løbet af de kommende 1-2 år. Kapitlet indeholder nu kun de første oversigtlige beskrivelser af indsatsen, hvad angår kvælstofanalyse i vandløbsoplandene. Anvisningen vil blive suppleret med eksempler på hvilke resultater, der kan forventes, baseret på et pilotstudie i et vandløbsopland. Oplandsanalyserne skal især fokusere på, at opnå en bedre viden om samspillet mellem ændringer i dyrkningspraksis og resulterende kvælstofkoncentration og -transport i vandløb. Herunder især analyser af samspillet mellem kvælstofudvaskning og kvælstoftransport i vandløb, samt kvælstofomsætningen og den tidsmæssige forsinkelse i responsen i vandløb af en ændret kvælstofudvaskning.

### 8.2 Kildeopsplitning af kvælstoftransport i vandløb

#### Metode

Der skal gennemføres en kildeopsplitning af den årlige og månedlige kvælstoftransport i vandløbet med udgangspunkt i de målinger, der er foretaget på vandløbsstationen. Kildeopsplitningen skal gennemføres efter de retningslinier, der er fastlagt i kapitel 5. Ved kildeopsplitningen skal der ske en vurdering af betydningen af kvælstofomsætningen i vandløbet ved brug af fastlagte fjernelsesrater. Der foreslås som erfaringstal anvendt en rate på  $100-200 \text{ mg N m}^{-2} \text{ døgn}^{-1}$  for den uorganiske kvælstoffjernelse via denitrifikation i sommerperioden, dvs. maj-august (Thyssen *et al.*, 1990). Den laveste rate bør anvendes hvis vandløbet er uden grøde og den højeste for vandløb med en stor grødebiomasse. Da denitrifikationen er meget mindre i vinterperioden kan estimerede kvælstoffjernelse i sommerperioden også antages at gælde for et helt kalenderår.

I sommerperioden vil der også ske et optag af uorganisk kvælstof i grøde og en tilbageholdelse af organisk kvælstof på vandløbsbunden. Tidligere undersøgelser har vist at kvælstofophobningen i grøden maksimalt, dvs. ved maximum biomasse, udgør i størrelsesordenen  $3-5 \text{ g N m}^{-2}$  (Thyssen *et al.*, 1990). Tilbageholdelsen af organisk kvælstof i strømlæ på vandløbsbunden kan også have betydning for den totale kvælstoftransport i sommerperioden. I tidligere undersøgelser er det påvist at ophobningen på vandløbsbunden i sensommer ved maksimal grødebiomasse udgør 5-15 % af brutto kvælstoftransporten i sommerperioden (maj-august) (Thyssen *et al.*, 1990; Svendsen, 1992).

På årsbasis har ophobningen af kvælstof i grøde og på vandløbsbund normalt ingen betydning, med mindre grøden fjernes fra vandløbet ved bortskæring.

#### **Anvendelse**

Kildeopsplitningen skal tolkes mod viden om oplandets natur- og kulturbetingede forhold. I tolkningerne skal der desuden inddrages analyser af oplandets hydrologiske respons i relation til styrken af det månedlige diffuse kvælstoftab.

### **8.3 Tolkning af kvælstofkoncentration og -transport imod afstrømningsforhold i oplandet**

#### **Metode**

Kvælstofkoncentrationen i vandløbet sammenholdes, dels med den totale afstrømning, dels med den mest betydende afstrømningskomponent for de enkelte observationer af koncentrationen. I kapitel 7 er der fastsat standardkriterier for hvornår de forskellige afstrømningskomponenter skal betragtes som dominerende. Desuden analyseres for eventuelle sammenhænge mellem den observerede kvælstofkoncentration/transport i vandløbet og de tre afstrømningskomponenter ved anvendelse af multipel regressionsanalyse. Analyserne skal gennemføres både opdelt på år og sæsoner efter en standardiseret metode.

#### **Anvendelse**

Analyserne skal medvirke til en indledende tolkning af den diffuse kvælstoflevering fra oplandet. Herunder især til at vurdere hvordan oplandet responderer på nedbør i relation til kvælstoftilførsel til vandløb via de forskellige afstrømningskomponenter (quick flow, interflow og baseflow komponenterne).

### **8.4 Opstilling af kvælstofbudget og beregning af kvælstofudvaskning i oplandet**

#### **Metode**

Der etableres en kvælstofbalance for landbrugsjorden i oplandet på bedriftsniveau på baggrund af de indsamlede oplysninger om landbrugspraksis i 1993/94 og 1998/99. På bedriftsniveau beregnes udvaskningen af kvælstof på minimum årsbasis for de to år med den aktuelle nedbør og ved normal nedbørsmængde. De beregnede data på bedriftsniveau linkes til og præsenteres med GIS i grafisk form for hele oplandet. Eventuelle ændringer i dyrkningspraksis og kvælstofudvaskning, samt ændringer i husdyrhold i perioden 1994-99, sammenstilles med de konstaterede undviklinger i kvælstofkoncentration og -transport i samme perioder korrigeret for klimatisk indflydelse. Endelig skal kvælstofomsætning i underjorden i oplandet kvantificeres på simpel vis, ved differencen mellem udvaskning af kvælstof i

de to driftsår og tabet af kvælstof via vandløbet fra hele oplandet i det efterfølgende kalenderår/hydrologiske år.

### **Anvendelse**

Eventuelle ændringer i kvælstofbalancen skal vurderes i relation til dyrkningspraksis i oplandet og vedtagne tiltag overfor landbruget. Den miljømæssige effekt af eventuelle ændringer i kvælstofbalancen og kvælstofudvaskningen mellem 1993/94 og 1998/99 kan belyses ved at sammenholde med konstaterede ændringer i det diffuse kvælstoftab i samme periode. Desuden skal beregningerne benyttes til at få en overordnet vurdering af den totale kvælstofomsætning i underjorden i oplandet under de herskende hydrogeokemiske forhold. Den indsamlede viden udnyttes desuden i scenarieberegninger af konsekvenser af en ændret arealanvendelse og landbrugspraksis i oplandet for reduktioner i kvælstofudvaskning.

## **8.5 Kalibrering af distribueret kvælstofmodel**

### **Metode**

Der kalibreres en semi-dynamisk og semi-distribueret model for vand- og kvælstoftab til vandløb ind på oplandet. Modellen skal virke med tidsskridt af månedsvarighed og bygge på en opdeling af oplandet i et antal klasser. Opdelingen af oplandet holdes meget simpel (få klasser) i form af to arealanvendelsesklasser (dyrket/udyrket), to jordbundsklasser (sandet/leret) og to afstandsklasser. I alt en matrice med 8 klasser. Fra hver klasse generes der vandafstrømning på baggrund af etablerede transfer funktioner mellem nettonedbør og dannelse af baseflow og interflow. Hertil kommer månedlig udvaskning af kvælstof (udvaskningsmodeller for dyrket areal og erfaringstal for udyrket areal). Den hydrologiske model kalibreres ind på baggrund af tidsserien af afstrømningsmålinger i vandløb med kendt separering i afstrømningskomponenterne. Kvælstofmodellen kalibreres ind ud fra koncentrationsmålingerne i vandløb koblet til kvælstofudvaskningen i de to år hvor den er beregnet. Selve modellen skal parametriceres på det enkelte opland og princippet i dette vil senere blive demonstreret på baggrund af pilotprojektet i et vandløbsopland.

### **Anvendelse**

Modellen skal anvendes til scenarieberegningerne af betydning af ændret arealanvendelse og landbrugspraksis i oplandet.

## **8.6 Kvælstofomsætning i retablerede våde enge**

### **Metode**

Kvælstofomsætningen i retablerede våde enge indenfor oplandet skal skønnes ud fra den indsamlede viden om lavbundsgrunde, vådområder og hoveddræn i oplandet. Der vil således alene blive tale om at kvantificere effekten af at overrisle enge med drænvand. De kon-

krete muligheder herfor bedømmes under anvendelse af den digitale højdemodel og beliggenhed af hoveddræn og lavbundsjorder. Til analyse af omsætning af kvælstof benyttes alene erfaringstal for omsætningsrater pr. muligt drænsystem, der skønnes at kunne overrisle lavbundsjorder. Der kan eventuelt være behov for en enkelt feltregistrering af drænudløb og deres placering i terræn til denne analyse.

#### **Anvendelse**

I scenariebetragtninger at kunne kvantificere det mulige omsætningspotentiale i oplandet ved overrisling af lavbundsjorder hvor topografien tillader det.

## **8.7 Scenarieberegninger**

#### **Metode**

Der gennemføres et antal nærmere fastlagte standardscenarier for ændringer i punktkildeudledninger, arealanvendelse, landbrugspraksis og management tiltag, som reetablering af våde enge. De enkelte scenariers betydning for leveringen af kvælstof til vandløb og for den resulterende kvælstofkoncentration i vandløbet vurderes på baggrund af de tidligere gennemførte analyser og opstillede sammenhænge.

#### **Anvendelse**

Konsekvensberegninger af forventet effekt på kvælstofkoncentration og -transport i vandløbet af forskellige typer af indgreb.

## **9 Metode til modellering og oplandsanalyse af fosforstrømme i vandløbsoplande**

### **9.1 Indledning**

I dette kapitel bliver metoder til oplandsanalyse af fosfor i vandløbsoplande gennemgået. Der forventes i løbet af de 2-3 næste år at blive udviklet nye simple modeller for fosforudvaskning (IMIS-DMU) og erosionsbetingede fosfortilførsler (Jordbrugeren som Landskabsforvalter-DJF og DMU). Kapitlet vil derfor skulle opdateres i løbet af de kommende 2 år. Kapitlet indeholder derfor nu de første oversigtlige beskrivelser af indsatsen hvad angår fosforanalyse i vandløbsoplandene. Anvisningen vil blive suppleret med eksempler på hvilke resultater der kan forventes baseret på et pilotstudie i et vandløbsopland. Oplandsanalyserne skal især fokusere på, at opnå en bedre viden om de diffuse fosforkilders betydning i oplandene. Det drejer sig specielt om fosforudvaskningen og de erosionsbetingede fosforkilders betydning i oplandet.

### **9.2 Kildeopsplitning af fosfortransport i vandløb**

#### **Metode**

Der skal gennemføres en kildeopsplitning af den årlige og månedlige fosfortransport i vandløbet med udgangspunkt i de intensive målinger, der er foretaget på vandløbsstationen. Kildeopsplitningen skal gennemføres efter de retningslinier, der er fastlagt i kapitel 5. Dog skal betydningen af den midlertidige tilbageholdelse af fosfor på vandløbsbunden forsøges inddraget under anvendelse af erfaringstal herfor.

#### **Anvendelse**

Kildeopsplitningen skal tolkes mod viden om oplandets natur- og kulturbetingede forhold. I tolkningerne skal der desuden inddrages analyser af oplandets hydrologiske respons i relation til styrken af det månedlige diffuse fosfortab, med henblik på en vurdering af betydningen af erosionstilførsler af fosfor og udvaskningen af fosfor i det pågældende opland.

### **9.3 Tolkning af fosforkoncentration og -transport imod afstrømningsforhold i oplandet**

#### **Metode**

Fosforkoncentrationen fra de intensive prøvetagninger sammenholdes, dels med den totale afstrømning, dels med den mest betydende

afstrømningskomponent for de enkelte analyserede delperioder. Desuden analyseres for eventuelle sammenhænge mellem den observerede diffuse fosfortransport i vandløbet indenfor delperioder og de tre afstrømningskomponenter i samme perioder ved anvendelse af multipel regressionsanalyse. I kapitel 7 er vist et eksempel på et muligt kriterie for hvornår den enkelte afstrømningskomponent dominerer.

### **Anvendelse**

Analyserne skal medvirke til en indledende tolkning af den diffuse fosforlevering fra oplandet af især de erosionsbetingede fosfortilførsler, herunder udskylning af tilbageholdt fosfor fra vandløbsbunden, samt fosforudvaskningen fra rodzonen og med grundvand.

## **9.4 Opstilling af fosforbudget og vurdering af potentialet for fosforudvaskning i oplandet**

### **Metode**

Der etableres en fosforbalance for landbrugsjorden i oplandet på bedriftsniveau på baggrund af de indsamlede oplysninger om landbrugspraksis i 1993/94 og 1998/99. Indsamlet viden om husdyrholdet i oplandet på bedriftsniveau i perioden 1993-1999 benyttes til at beregne jordens fosforstatus (Pt). Beregningen sker ved hjælp af opstillede sammenhænge mellem husdyrenheder pr. hektar og jordens fosforstatus (*Grant et al., 1997*). Disse sammenhænge kan formentlig forventes forbedret i de kommende år med inddragelse af betydningen af jordtyper. Risikoen for fosforudvaskning opgøres både på bedriftsniveau og for oplandet som helhed under anvendelse af de forventede udviklede sammenhænge mellem fosforstatus, jordtype og fosforudvaskning i de kommende år ved DMU.

### **Anvendelse**

Eventuelle ændringer i fosforbalancen skal vurderes og dens miljømæssige effekt på sigt inddrages i de senere tolkninger af udvaskningsrisikoen. Den beregnede fosforudvaskning fra landbrugsjorden i oplandet skal sammenholdes med det diffuse tab af både opløst fosfor og total fosfor med henblik på en samlet vurdering af de enkelte diffuse transportvejes betydning i oplandet. Den indsamlede viden udnyttes desuden i scenarieberegninger af konsekvenser af en ændret arealanvendelse og landbrugspraksis i oplandet for reduktioner i fosforudvaskning.

## **9.5 Analyse af erosionsrisiko og -omfang i oplandet**

### **Brinkerosion**

Indenfor hvert af de 25 oplande som indgår i NOVA 1998-2003 oplandsanalyse skal der i efteråret 2000 eller foråret 2001 gennemføres en kortlægning af brinkerosionens potentielle betydning for levering

af jord og fosfor til vandløb. Kortlægningen sigter ikke på at kvantificere omfanget af brinkerrosion i oplandet, idet dette er en meget arbejdskrævende og langstrakt monitoringsopgave. I stedet skal der via en feltmæssig kortlægningsrunde indhentes deskriptive oplysninger om en række forhold, som har betydning for brinkerrosion.

Brinkerrosion foregår under påvirkning af en lang række faktorer. Nogle af disse arbejder på at svaggøre brinken (frost, tøj, udtørring), mens en lang række andre processer kan grupperes i to overordnede kategorier:

### *1. Lateralerosion*

Ved denne erosionsproces eroderer det strømmende vand i siderne af løbet (fx i ydersiden af mæanderbuer), så hældningen af brinken forøges, strømmen medtager materiale fra skræntfoden. Faktorer af betydning for denne type brinkerrosion er plantedække og -type på brink, hældning af brink, placering i forhold til vandløbets form, brinkmaterialets sammenhængskraft, mv.

### *2. Skrederosion*

Opstår ved at brinken bliver for stejl eller helt undermineres af det strømmende vands erosive kræfter. Om der sker skred afhænger bl.a. af brinkmaterialets sammenhængskraft (kohæsivitet), hældning af brink, porevandtrykket i brinkmaterialet og hyppigheden af stigende/faldende vandstand i vandløbet. Frost/tøj situationer kan også indvirke på denne type af brinkerrosion. Stejle brinker kan dog også bevæge sig nedad ved en mere langsom form for massebevægelse – fx i lighed med bevægelsen af en gletscher.

Færdsel tæt på brinkerne med tunge maskiner eller græssende kreaturer har en væsentlig betydning for omfanget af brinkerrosion. Betydningen er især afhængig af bredden af bræmme langs vandløb og om der er heget for græssende kreaturer.

Brinkerrosionens omfang kan måles på flere måder hvoraf anvendelse af erosionspinde er en af de mest anvendte internationalt (Lawler, 1993). Erosionspinde er også anvendt af DMU i flere undersøgelser og de synes velegnede til at måle brinkerrosion, især lateralerosion (Laubel et al., 1999 og 2000).

De igangværende undersøgelser af brinkerrosionens omfang ved 33 vandløbsstrækninger beliggende i 1-2 ordens vandløb over hele landet forventes afsluttet i løbet af år 2000. Undersøgelserne skal medvirke til at udvikle et værktøj som gør det muligt at vurdere omfanget af brinkerrosion ud fra en række basale beskrivende data om vandløb og dets omgivelser.

Amterne skal derfor gennemføre en feltmæssig kortlægning langs hele den åbne del af vandløbsnettet i de 25 vandløbsoplande. Af tabel 9.1 fremgår antal kilometer åbne vandløb i de 25 oplande beregnet ud fra digitale vandløbsnet data (1:50.000). En analyse af data fra grundlaget 1:25.000 har vist at det i mange oplande vil blive for omfangsrigt at kortlægge alle åbne vandløb og grøfter.



Kortlægningen foregår i det sene efterår 2000 (november-december) eller forår 2001 (marts-april). I efteråret efter at brinkvegetationen er ved at dø ud eller i foråret inden brinkvegetationen for alvor har igangsat sin vækst. Hvis kortlægningen foretages med fuldt udviklet brinkvegetation bliver det meget tidskrævende og besværligt at gennemføre kortlægningen.

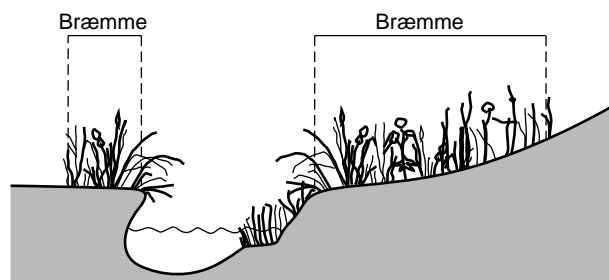
*Tabel 9.1* Oplandets størrelse og antal km åbne vandløb i oplande til vandløb der indgår i oplandesanalyse.

DMU-nr	Oplandsstørrelse (km <sup>2</sup> )	Antal km åbne vandløb (km) (2 cm kort)
130011	11,43	6,33
160030	11,29	5,31
210072	3,95	2,64
210752	5,48	8,35
210759	10,59	6,82
210803	10,61	7,45
210872	21,96	15,71
220043	19,02	7,63
350011	6,64	3,13
360012	9,51	5,50 <sup>1</sup>
360030	3,73	0,90 <sup>1</sup>
380020	10,80	12,18
420012	7,77	9,95
450003	485,48	268,33
470001	57,77	26,12
470033	4,36	1,37
480011	8,90	5,55
520033	5,42	2,54
520199	26,49	14,42
570044	15,17	10,27
570063	12,26	5,10 <sup>1</sup>
580019	4,25	3,75
620014	9,85	6,13
620022	15,43	21,97
660014	41,91	26,60

<sup>1</sup> Estimeret ud fra 4 cm kort.

Kortlægningen af en række beskrivende forhold i vandløb, brink og bræmme gennemføres ved i alt 20 tværprofiler pr. vandløbsopland. Tværprofilerne udlægges så de er fordelt med nogenlunde lige stor afstand i hovedløb og eventuelle sidetilløb. For oplande større end 15 km<sup>2</sup> kan man vælge ikke at placere de 20 tværprofiler med lige stor indbyrdes afstand, men efter deres tilgængelighed, fx i nærheden af veje, markveje, mv. Dog skal der holdes en afstand til brooverførsler på minimum 50 m. De udvalgte tværprofiler skal dog bedst muligt repræsentere hele det åbne vandløbsforløb typisk taget fra 2 cm kortet. Tværprofilernes omtrentlige placering planlægges hjemmefra ved indtegnning på målfast kort over vandløbssystemet i oplandet.

Ved hvert tværprofil fastlægges overgangen mellem brink og bræmme på begge sider af vandløbet og der opsættes midlertidigt en pløk i overgangen til støtte for de efterfølgende opmålinger. Overgangen mellem brink og bræmme findes enten i form af et knæk, dvs. hvor hældningen brat ændres, eller – hvis der ikke findes et egentligt knæk – som det sted, hvorfra hældningen er nogenlunde som på det bagvedliggende markareal (se figur 9.1).



Figur 9.1 Principskitse for skelnen mellem brink (vandløbskant) og bræmme.

Efter opsætning af de to pløkke gennemføres der en kortlægning af følgende elementer i bræmme og brink på begge sider af vandløbet (se også skema i bilag 4):

### Bræmmen

*Bræmmens bredde*, dvs. afstand til mark i omdrift, opmåles med tomme stok, aluminiumsstadie eller målebånd. Hvis bræmmen er meget bred, fx i form af skov eller permanent græsningsareal skal den kun opmåles ud til en afstand af 20 m. Hvis den er bredere end 20 m angives det som > 20 m i skemaet.

*Bræmmetyper* i form af en simpel vegetationskarakteristik opdelt i tre typer (1. urte/græs bræmme; 2. skov/krat; 3. bræmme med enkeltstående træer langs vandløb) bedømmes ud fra vegetationen i en længde på 10 m omkring den opsatte pløk.

*Græsning i bræmme* angives i skemaet som et ja eller nej.

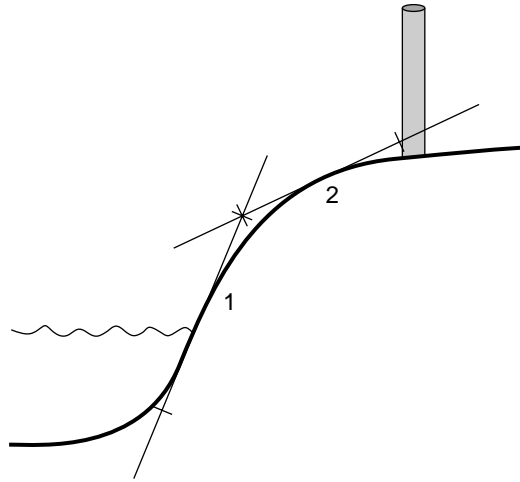
*Elhegn* angives i skemaet som et ja eller nej. Hvis ja til elhegn så opmåles afstand fra pløk til elhegn og afstanden angives i skemaet.

### Brinken

Brinken beskrives i et ca. 1 m bredt felt nedenfor den midlertidigt opsatte pløk.

*Brinkhældningen* opmåles ved anvendelse af vaterpas med indbygget hældningsmåler. Vaterpas lægges fx ovenpå et udlagt aluminiumsstadie langs hele brinken. Hvis brinken består af flere sektioner med forskel i hældning, opmåles hver enkelt sektion, og der beregnes for hele brinken et vægtet gennemsnit, som indføres i skemaet (se figur 9.2).

*Brinklængden* opmåles ved anvendelse af målebånd, aluminiumsstadie, eller tommestok. Brinklængden måles fra brinkfod ved vandløbsbund og til den opsatte pløk. Hvis brinken består af flere sektioner med forskel i fald måles længden af de enkelte sektioner og den samlede længde angives i skemaet.



Figur 9.2 Brink med varierende hældning. De to brinksektioner har følgende længder og hældninger: 1. 75 cm og 80°; 2. 50 cm og 25°. Den gennemsnitlige hældning er derfor 58°.

*Udstrækningen af bar brink* opmåles på samme måde som brinklængden. Undertiden er brinken bar - dvs. helt uden vegetation - fra brinkfod og op til normalt vandstands niveau i vandløbet. Nogle brinker er dog uden vegetation fra brinkfod og helt op til pløk (udstrækning af bar brink er her lig brinklængde).

*Brinkhøjden* opmåles som den lodrette afstand fra vandløbsbunden ved brinkfod til jordniveau ved pløk. Der kan evt. anvendes to aluminiumstadier og et vaterpas til opmålingen: vaterpas monteres på aluminiumsstadiet som holdes vandret ud fra pløk, mens den lodrette afstand måles vha. det andet aluminiumstadie.

*Udhængende/underskåret brink* angives som et ja eller nej i skemaet.

Kortlægningen af de ovenfor nævnte elementer sker i fastlagte tværprofiler. I forbindelse med besøget ved de enkelte tværprofiler gennemvandres hele vandløbssystemet. Under denne vandring registreres antallet af steder med synlige større brinkskred og antallet af kreaturvandingssteder hvor kreaturer har nedtrampet brinken. Antallet af synlige større brinkskred og kreaturnedtrampninger af brinken indføres løbende i skemaet. Ved synlige større brinkskred forstås skred, hvor de nedskredne jordklumper stadig ligger ved brinkfoden som et tegn på forekomment brinkskred.

Kortlægningen gennemføres typisk ved anvendelse af et skema pr. mark. Skema skal være kopieret på vandfast papir og udfyldes med blyant.

De indsamlede oplysninger indtastes i regneark og overføres i dette til fagdatacenteret.

### **Jorderosion, sedimentation på mark og i bræmme samt sedimenttilførsel til vandløb**

Vanderosion på dyrkede marker i form af rilledannelser kan forekomme på hældende marker både efter store og intensivt faldende regnmængder efter jordbearbejdningen i det tidlige efterår og i for-

bindelse med snesmeltning og/eller regn på frossen jord i vinterperioden (*Kronvang et al., 2000*). Vanderosionen varierer betydeligt fra år til år på grund af klimaets afgørende indvirkning på processen (*Kronvang et al., 2000*). Omfanget af rilleerosion på den enkelte mark afhænger udover de klimatiske forhold af en lang række lokale forhold, hvor hældningen på marken, længden af den hældende mark, jordtype og de jordfysiske forhold, markens ruhed, jordbearbejdningen og afgrødetype er de vigtigste parametre.

Ved vanderosionen mobiliseres overjorden i form af små eller store riller som typisk gennemskærer marken på dens hældende del. Hvor marken flader ud inden vandløbet aflejres ofte en stor del af det grove materiale (sand, evt. grus), som tydeligt kan erkendes som aflejningskegler/sandfaner, der fremtræder som meget lysere partier end omgivelserne. Hvis der langs vandløbet er en permanent bevokset bræmme eller bufferzone, vil denne øve stor modstand mod vandets strømning. I bræmmen kan der afhængig af dens udbredelse, de lokale topografiske forhold og rillens størrelse både ske en sedimentation af groft materiale og fint materiale. Nogle steder kan bræmmen ikke tilbageholde alt det tilførte materiale så dele når frem til vandløbet gennem bræmmen.

I de tilfælde hvor materiale fra marken når frem til vandløbet med det overfladisk afstrømmende vand kan der tilføres endog meget store mængder jord, partikulært bundet fosfor og opløst fosfor (*Kronvang et al., 2000*). I forbindelse med oplandsanalysen skal der efter vinteren 2000/2001 gennemføres en oversigtlig kortlægning af jorderosionens omfang i oplandet, samt registreres antallet af tilfælde med gennembrud af jord og fosfor til vandløb. Kortlægningen skal gennemføres i det tidlige forår 2001 inden forårets jordbearbejdning påbegyndes. Kortlægningen gennemføres i starten af marts, men kun såfremt jorden ikke er frosset og der ikke er snedække. Hvis det skulle være tilfældet, udføres den så snart forholdene er bedret, og inden udløbet af marts måned.

Kortlægningen sker for alle marker i oplandet som støder ned til åbne vandløb, dvs. typisk langs samme vandløbssystem, hvor der også er eller skal registreres oplysninger relateret til brinkerosion. Ved en mark forstås et areal der har samme afgrødetype og ikke er delt af linier i terrænet som hegn, grøfter, mv. For oplande større end 15 km<sup>2</sup> kan kortlægningen af jorderosion indskrænkes til at omfatte marker ned mod vandløb med en hældning på 3 % eller mere. Udpegningen af disse marker kan ske ud fra højdekurver på 2 cm eller 4 cm kort.

Inden feltkortlægningen igangsættes udtegnes/kopieres der et målfast kort over oplandet indeholdende vigtige linier og punkter i landskabet. Hvis der eksisterer et markkort over oplandet benyttes dette i forbindelse med kortlægningen. Ellers anvendes det udtegnede/opkopierede kort og marker ned mod åbne vandløb registreres og nummereres i felten. For hver mark registreres en række overordnede oplysninger ved at der traves på den ene side af vandløbet på udturen og den anden side på hjemturen:

### **Registrering af overordnede markoplysninger**

*Marknummer tildeles* som fortløbende nummer i felten og angives både på kort og i skema (bilag 4).

*Afgrødetype/jordbehandling* registreres på hver mark ved at afkrydse en af kategorierne: 1. Vinterkorn; 2. vinterraps; 3. græsmark eller stubmark eller brakmark; 4. stubharvet eller pløjet mark; 5. juletræer; 6. Andet.

I skemaet registreres ved afkrydsning om der er *synlige store eller små riller på marken*. Denne registrering sker efter at hele marken er gået igennem langs med vandløbet, men et stykke inde på marken.

I skemaet registreres desuden, om eventuelle *små riller udelukkende optræder i kørespor*.

Erkendes der ingen riller på marken fortsættes der til næste mark.

### **Registrering af jordtilførsel til bræmme**

Er der registreret riller på marken fortsættes der med de følgende registreringer ved at gå tilbage langs med vandløbet, i bræmme-markkanten. Eller man går, hver gang der er registreret en rille oppe på marken, ned mod bræmme-markkant for at se om man kan "følge" den pågældende rille med tilhørende sedimentaflejring helt ud i bræmmen.

Det registreres i skemaet hvor mange steder, der observeres synlige tegn på tilførsel af jord til bræmmen. Dette erkendes ved synlige aflejringer af specielt sand eller eventuelt slam i bræmmen ud for rillen eller sandfane på mark. Ved hver registrering af indløb til bræmme opsættes der en hvid markeringsstok.

Er der ikke registreret synlige jordtilførsler til bræmmen og dermed ikke opsat hvide markeringsstokke fortsættes der til næste mark.

### **Registrering af jordtilførsel til vandløb**

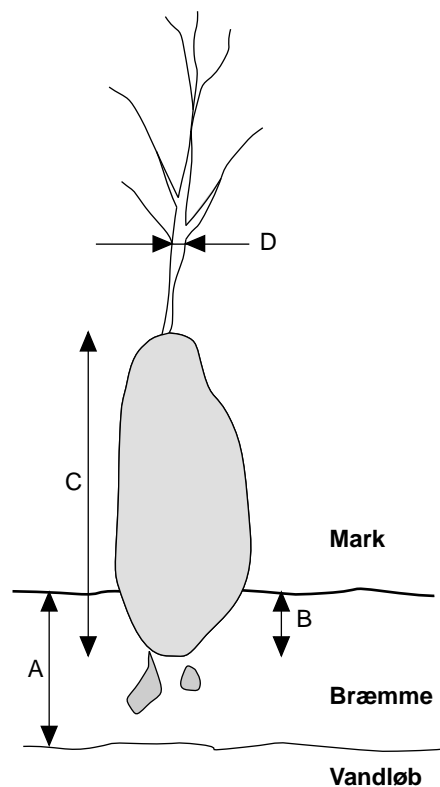
Ellers vandres der tilbage langs med vandløbet og nu tæt på overgangen mellem bræmme og brink.

I forbindelse med denne vandring noteres det *for hver hvid markeringsstok*, om der er synlige tegn på at jord er nået helt gennem en eventuel bræmme og ud til vandløb. Dette kan erkendes ved, at der er aflejret sediment helt frem, eller næsten helt frem, til brinkkanten - eller der kan være nederoderede riller i den yderste del af bræmmen ud mod brinkkanten (evt. kan der ligge renvaskede sten tilbage i en sådan rille). Der kan også forekomme steder, hvor vand og sediment i stedet for at være løbet ud i bræmmen er løbet *nedenunder* bræmmen. Det sker undertiden helt ude fra bræmme-markkanten gennem gravegange (vandrotter, mus, mulvarp) der munder ud i brinken.

Antallet af steder med synlige jordtilførsler til vandløbet registreres i skemaet.

Hvis der ikke erkendes jordtilførsel til vandløb ud for hver markeringsstok medtages denne til det næste markerede sted. Erkendes der jordtilførsel **til vandløb** skal der hvert sted ske følgende registreringer, inden den hvide markeringsstok tages med videre (figur 9.3):

- A. Opmåling af bræmmens bredde fra overgangen brink/bræmme til overgangen bræmme/mark ved anvendelse af stadie, tommestok eller målebånd.
- B. Opmåling af, hvor langt den veldefinerede sandfane er nået ud i bræmmen (hvis den er nået helt ud til bræmme-brink overgangen, er der typisk ført store mængder jord ud i vandløbet).
- C. Opmåling af den veldefinerede sandfanens længde (på mark og i bræmme).
- D. Opmåling af rillens tværsnit det sted, hvor den er størst. Denne maximum rilledimension skal findes indenfor de nederste 30 meter af rillesystemet ned mod aflejringskeglen/sandfanen. Rilledimensionen opmåles med tommestok i form af en ovenbredde og en gennemsnitsdybde beregnet ud fra 3 nedstik på tværs i rillen (i positioner svarende til 10 %, 50 % og 90 % af rillens ovenbredde).



Figur 9.3 Principskitse af rille system og sandfane set ovenfra.

Kortlægningen gennemføres typisk ved anvendelse af et skema pr. mark. Skema skal være kopieret på vandfast papir og udfyldes med blyant.

De indsamlede oplysninger indtastes i regneark og overføres i dette til fagdatacenteret.

#### **Anvendelse**

Jord- og brinkerøsionens potentielle betydning for levering af jord og fosfor til vandløbet vurderes ud fra feltregistreringerne og de målte diffuse fosfortransporter gennem det pågældende år. Der forsøges således opstillet et kvalitativt budget for den diffuse fosforlevering i det pågældende år, hvor også fosforudvaskningen inddrages.

### **9.6 Scenarieberegninger**

#### **Metode**

Der gennemføres et antal nærmere fastlagte standardscenarier for ændringer i punktkildeudledninger, arealanvendelse, landbrugspraksis og management tiltag, som ændret bræmmebredde mv. De enkelte scenariers betydning for leveringen af fosfor til vandløb og for den resulterende fosforkoncentration i vandløbet vurderes på baggrund af de tidligere gennemførte analyser og opstillede sammenhænge.

#### **Anvendelse**

Konsekvensberegninger af forventet effekt på fosforkoncentration og -transport i vandløbet af forskellige typer af indgreb.

## Referencer

*Chow, V. T.; Maidment, D. R. & Mays, L. W. (1988): Applied Hydrology. McGraw-Hill, Singapore.*

*Cleveland, W.S. (1979): Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. Journal of American Statistical Association, 74, 829-836.*

*Cleveland, W.S. (1979): Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. Journal of American Statistical Association, 74, 829-836.*

*Cosby, B. J.; Hornberger, G. M.; Clapp, R. B. & Ginn, T. R. (1984): A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils. Water Resources Research, 20 (6), pp. 682-690.*

*D.H.I. (1990): NAM - Documentation and Users Guide.*

*Dyhr-Nielsen, M et al. (1991): Kvælstof og fosfor i jord og vand. NPO-forskning fra Miljøstyrelsen. Samlerapport. 160 s.*

*Hirsch, R.M. og Slack, J.R. (1984): A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. Water Resources Research, 20, 727-732.*

*Hirsch, R.M. og Slack, J.R. (1984): A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. Water Resources Research, 20, 727-732.*

*Hirsch, R.M., Slack, J.R. og Smith, R. A. (1982): Techniques of trend analysis for monthly water quality data. Water Resources Research, 18, 107-121.*

*Hirsch, R.M., Slack, J.R. og Smith, R. A. (1982): Techniques of trend analysis for monthly water quality data. Water Resources Research, 18, 107-121.*

*James, L. D. & Burges, S. J. (1982): Selection, calibration, and testing of hydrologic models. I Haan, Johnson & Brakensiek (red.). Hydrologic of small watersheds. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph Michigan.*

*Jensen, J.P, Jeppesen, E., Søndergaard, M., Windolf, J., Lauridsen, T. & Sortkjær, L. (1995): Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1994. Danmarks Miljøundersøgelser. 116 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 139.*

*Jensen, J.P, Jeppesen, E., Søndergaard, M., Windolf, J., Lauridsen, T. & Sortkjær, L. (1995): Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens*



overvågningsprogram 1994. Danmarks Miljøundersøgelser. 116 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 139.

*Kristensen, P., Jensen, J.P. & Jeppesen, E. (1990):* Eutrofieringsmodeller for søer. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, C9. 120 s.

*Kristensen, P., Jensen, J.P., Jeppesen, E. & Erlandsen, M. (1991):* Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1990. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU, nr. 38. 103 s.

*Kronvang, B., Svendsen, L.M. Jensen, J.P. & Dørge, J. (1997a):* Næringsstoffer - arealanvendelse og naturgenopretning. Temarapport fra Danmarks Miljøundersøgelser nr. 13. 38s.

*Kronvang, B., Svendsen, L.M. Jensen, J.P. & Dørge, J. (1997a):* Næringsstoffer - arealanvendelse og naturgenopretning. Temarapport fra Danmarks Miljøundersøgelser nr. 13. 38s.

*Kronvang, B., Windolf, J., Larsen, S.E., Platou, S.W. & Jensen, H. (1997b):* Næringsstoftilførsel til Horsens Fjord. Vand og Jord 6: 250-255.

*Kronvang, B., Windolf, J., Larsen, S.E., Platou, S.W. & Jensen, H. (1997b):* Næringsstoftilførsel til Horsens Fjord. Vand og Jord 6: 250-255.

*Larsen, S.E. (1996):* En statistisk testprocedure til analyse af udviklingstendenser i tidsserier af vandkvalitetsdata. Ikke publiceret notat. Danmarks Miljøundersøgelser.

*Larsen, S.E. (1998):* En statistisk testprocedure til analyse af udviklingstendenser i tidsserier af vandkvalitetsdata. Faglig rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser. Under udarbejdelse.

*Madsen, H. B. (1989):* Kompendium i jordbundsgeografi. Geografisk Institut Københavns Universitet.

*Miljøstyrelsen (1997):* Punktkilder 1996. Orientering fra Miljøstyrelsen, nr. 16/1997. 137 s.

*Miljøstyrelsen (1998):* Udkast til teknisk anvisning for punktkilder. Miljøstyrelsen, Februar 1998. 89 s.

*Miljøstyrelsen (1997):* Punktkilder 1996. Orientering fra Miljøstyrelsen, nr. 16/1997. 137 s.

*Miljøstyrelsen (1998):* Udkast til teknisk anvisning for punktkilder. Miljøstyrelsen, Februar 1998. 89 s.

*Nielsen, S. A. & Hansen, E. (1973):* Numerical simulation of the rainfall-runoff process on a daily basis. Nordic Hydrology 4, 1973, pp. 171-190.

*Pedersen, M. L. (1995):* Modelling af afstrømningen fra Syv Bæks opland. Specialrapport Geografisk Institut, Københavns Universitet.

*Rawlings, J.O. (1988):* Applied Regression Analysis. A Research Tool. Wadsworth and Brooks/Cole.

*Thyssen, N., Erlandsen, M., Kronvang, B. og Svendsen, L.M., (1990):* Vandløbsmodeller - biologisk struktur og stofomsætning. Npoforskning fra Miljøstyrelsen, Nr. C10, 104 s.

*Vollenweider, R.A. (1976):* Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 33: 53-83.

*Wiggers, L., Tornbjerg, H., Windolf, J., Svendsen, L.M. & Kronvang, B. (1994):* Notat fra arbejdsgruppen vedrørende beregning af den diffuse tilførsel af total N og total P fra umålte oplande i Overvågningsprogrammet. Udsendt af Danmarks Miljøundersøgelser.

*Wiggers, L., Tornbjerg, H., Windolf, J., Svendsen, L.M. & Kronvang, B. (1994):* Notat fra arbejdsgruppen vedrørende beregning af den diffuse tilførsel af total N og total P fra umålte oplande i Overvågningsprogrammet. Udsendt af Danmarks Miljøundersøgelser.

*Wiggers, L., Tornbjerg, H., Windolf, J., Svendsen, L.M. & Kronvang, B. (1994):* Notat fra arbejdsgruppen vedrørende beregning af den diffuse tilførsel af total N og total P fra umålte oplande i Overvågningsprogrammet. Udsendt af Danmarks Miljøundersøgelser.

*Windolf, J., Jeppesen, E., Jensen, J.P. & Kristensen, P. (1995):* Modelling the seasonal variation in in-lake concentration and retention of nitrogen in 16 shallow lakes: a four-year mass balance study. Biogeochemistry 33: 25-44.

*Århus Amtskommune (1997):* Ravn Sø 1996. Teknisk rapport. Natur & Miljøkontoret, Århus Amt.

*[Tom side]*

# Bilag 1

*Vandindhold i forskellige jordtyper ved  $pF=0$ ;  $pF=2,5$  og  $pF=4,2$ , efter D.H.I. (1990).*

Tekstur	Mættet jord ( $\theta_s$ )	Markkapacitet ( $\theta_{2,5}$ )	Visnegrænse ( $\theta_{4,2}$ )
Sand	0,339	0,086	0,021
Loamy Sand	0,421	0,148	0,059
Sandy Loam	0,434	0,225	0,099
Loam	0,439	0,289	0,137
Silt Loam	0,476	0,364	0,175
Sandy Clay Loam	0,404	0,254	0,142
Clay Loam	0,465	0,343	0,212
Silty Clay Loam	0,464	0,385	0,246
Sandy Clay	0,406	0,294	0,204
Silty Clay	0,468	0,376	0,258
Clay	0,468	0,397	0,283

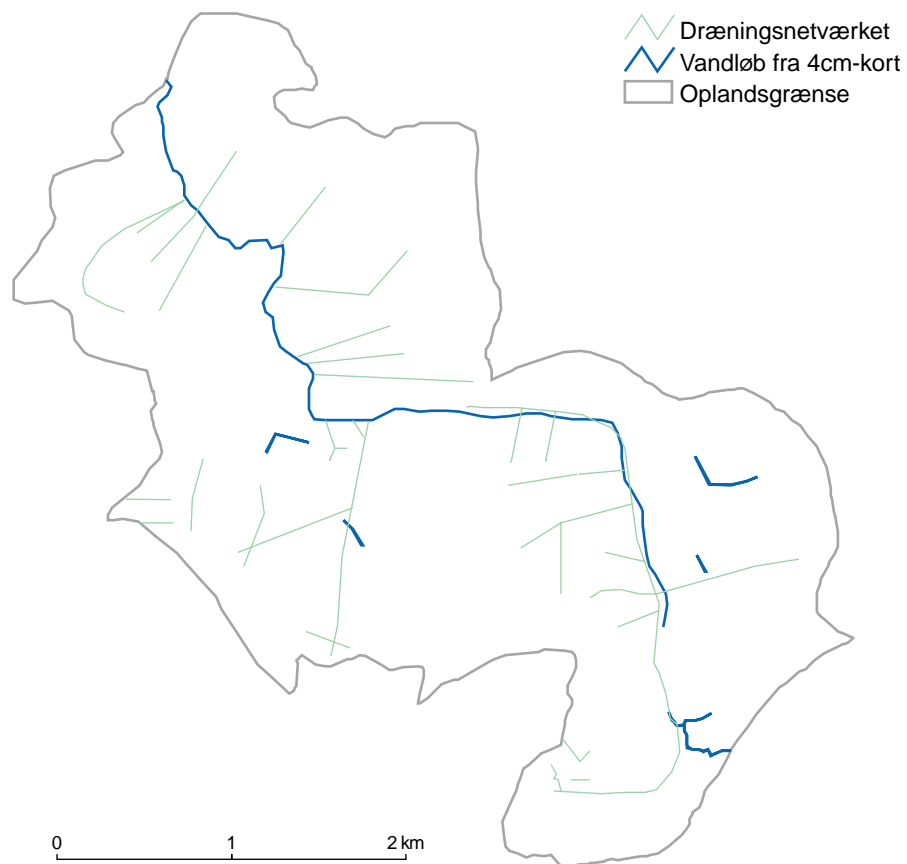
## Bilag 2

*Effektiv roddybde for forskellige afgrøder på forskellige jorder, efter H.B. Madsen (1989).*

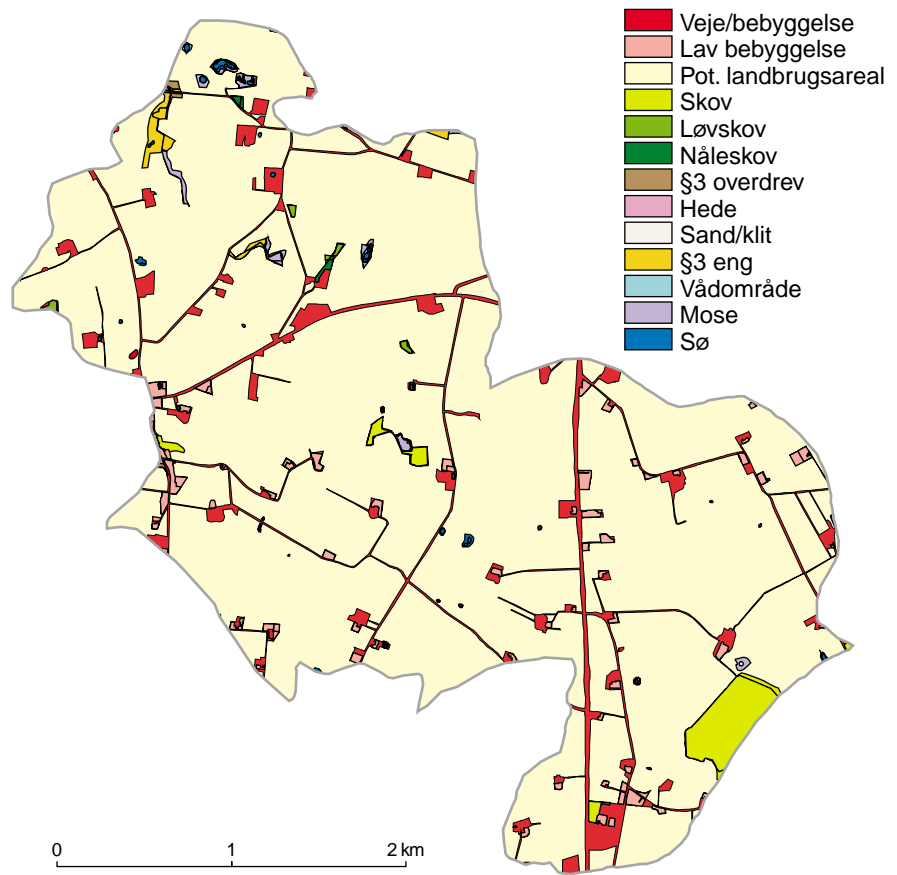
Tekstur	Græs	Byg / Vårsæd	Vinterhvede/ rug	Roer mv.
Sand	45 cm	45 cm	45 cm	45 cm
Lerblandet sandjord	55 cm	65 cm	75 cm	65 cm
Sandblandet lerjord	60 cm	70 cm	85 cm	70 cm
Lerjord	60 cm	90 cm	110 cm	90 cm
Svær lerjord	60 cm	90 cm	110 cm	90 cm

## Bilag 3

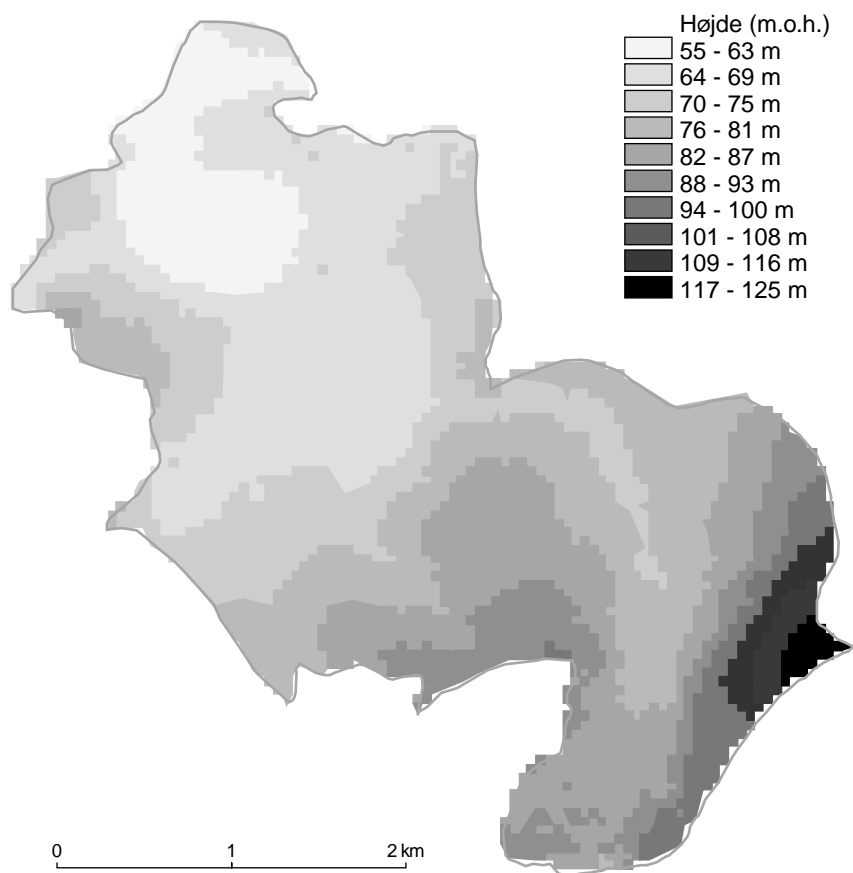
Resultater fra NAM- modelleringen i form af figurer.



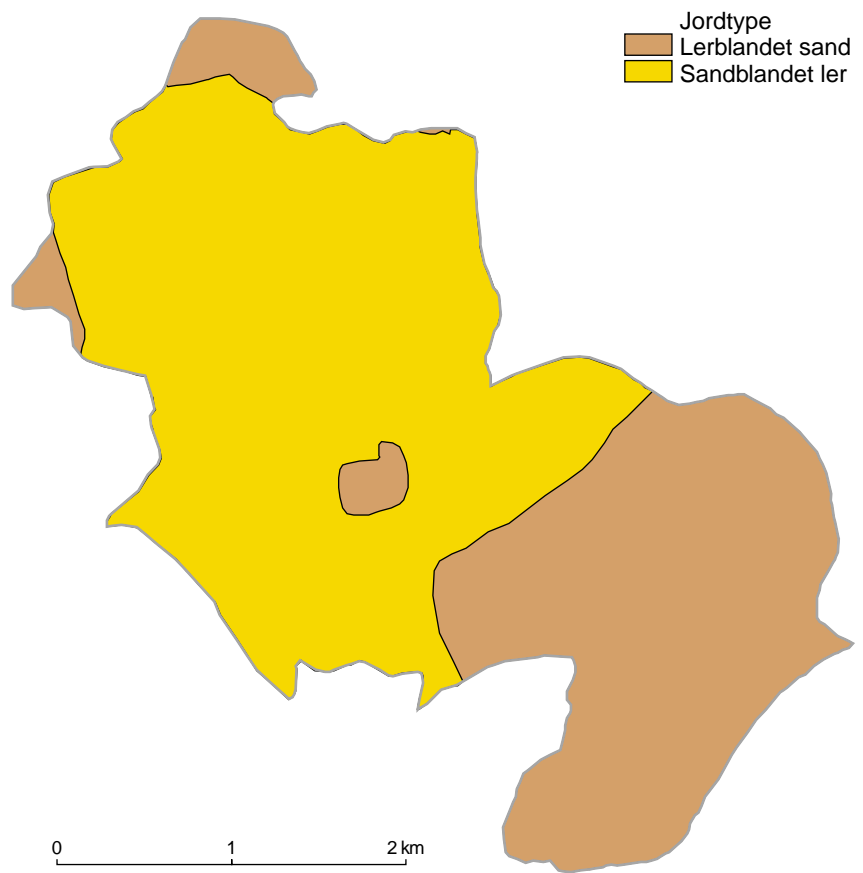
Figur 1 Vandløb og dræningsnetværk



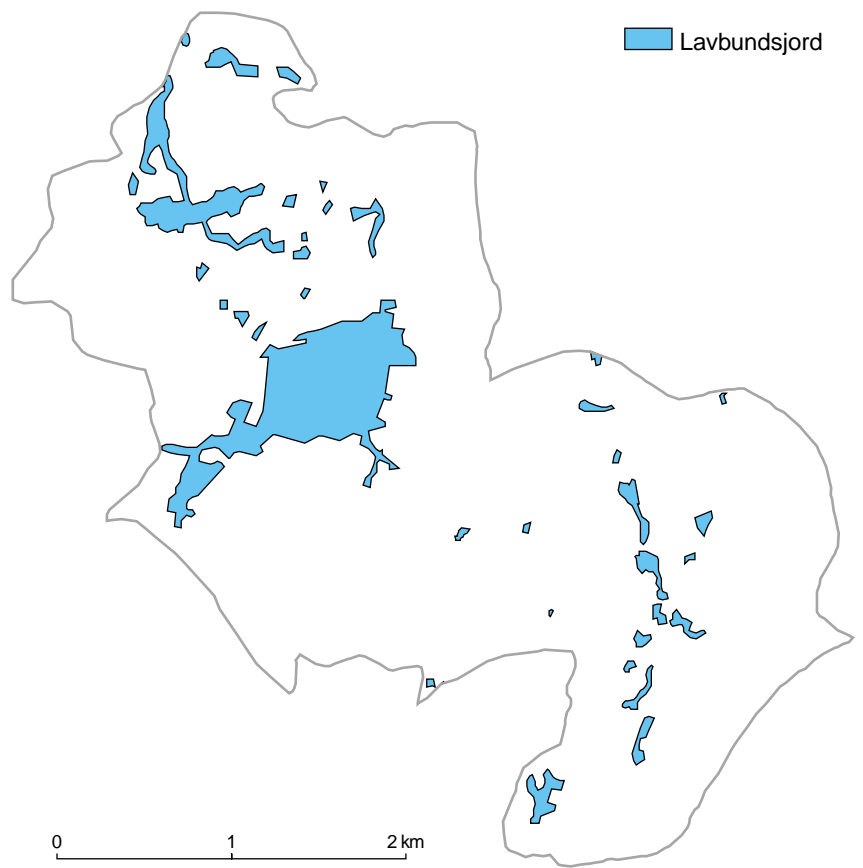
Figur 2 Arealudnyttelse



Figur 3 Digital højdemodel

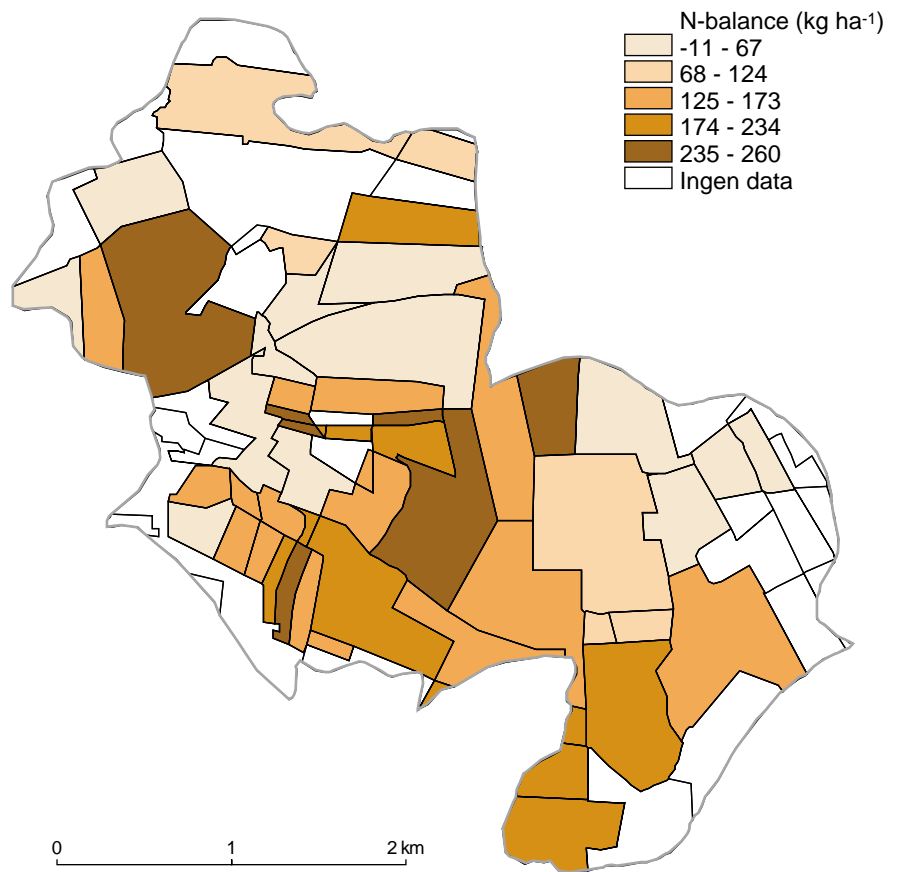


Figur 4 Jordtyperne

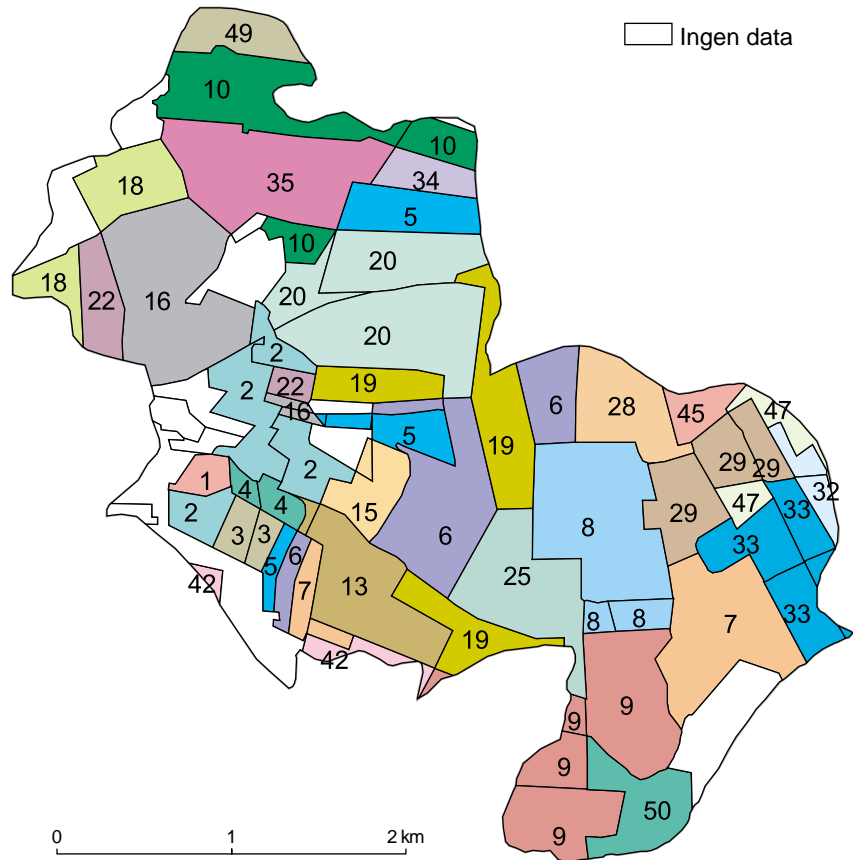


Figur 5 Lavbundsjord





Figur 6 Kvælstofbalance



Figur 7 Ejernes jordtilliggende

# **Feltskemaer til brug i kortlægningen af brink- og rilleerosion**

## Skema til registrering af brinkerosion (Et skema benyttes pr. tværprofil)

Profilnummer (startende nedstrøms fra målestation): \_\_\_\_\_

Stationering i meter fra målestation: \_\_\_\_\_ meter

Definer overgang mellem brink og bræmme i begge sider og opsæt pløkke i begge sider

### Registrering af oplysninger om bræmmen

Venstre side set opstrøms

Højre side set opstrøms

Bræmme bredde: \_\_\_\_\_ meter

Bræmme bredde: \_\_\_\_\_ meter

Bræmme type: \_\_\_\_\_ kategori

Bræmme type: \_\_\_\_\_ kategori

(1. urte/græs bræmme; 2. skov/krat; 3. bræmme med enkeltstående træer. Bedømmes indenfor 10 m omkring pløk)

Græsning i bræmme: \_\_\_ ja \_\_\_ nej

Græsning i bræmme: \_\_\_ ja \_\_\_ nej

Elhegn: \_\_\_ ja \_\_\_ nej

Elhegn: \_\_\_ ja \_\_\_ nej

Afstand fra pløk til elhegn: \_\_\_\_\_ m

Afstand fra pløk til elhegn: \_\_\_\_\_ m

### Registrering af oplysninger om brinken

Brinkhældning: \_\_\_\_\_ grader

Brinkhældning: \_\_\_\_\_ grader

Brinklængde: \_\_\_\_\_ meter

Brinklængde: \_\_\_\_\_ meter

Brinkhøjde: \_\_\_\_\_ meter

Brinkhøjde: \_\_\_\_\_ meter

Udhængende brink: \_\_\_ ja \_\_\_ nej

Udhængende brink: \_\_\_ ja \_\_\_ nej

Udstrækning af bar brink: \_\_\_\_\_ meter

Udstrækning af bar brink: \_\_\_\_\_ meter

### Registrering af oplysninger om vandløb mellem dette tværprofil og næste tværprofil

Steder med større synlige brinkskred: \_\_\_\_\_

Steder med kreaturnedtrampning af brinker: \_\_\_\_\_

## Skema til registrering af jorderosion (Et skema benyttes pr. mark)

Marknummer (skal også fremgå af kortbilag): \_\_\_\_\_

### Registrering af overordnede oplysninger om marken

Afgrødetype/jordbehandling: \_\_\_\_\_

Anfør kategori

(1. Vinterkorn; 2. Vinterraps; 3. Græsmark, stubmark eller brakmark; 4. Stubharvet eller pløjet; 5. Juletræer)

Synlige *små* riller på mark: \_\_\_\_\_ Ja \_\_\_\_\_ Ja, men kun i kørespor \_\_\_\_\_ Nej  
(Ved små riller menes riller med et tværsnit for neden mindre end en knytnæve)

Synlige *store* riller på mark: \_\_\_\_\_ Ja \_\_\_\_\_ Nej

Hvis der ikke er konstateret riller, fortsættes til næste mark.

### Registrering af jordtilførsel til bræmme og vandløb

Antal steder med jordtilførsel til bræmme: \_\_\_\_\_  
(opsæt en hvid markeringsstok pr. sted)

Antal steder med jordtilførsel til vandløb: \_\_\_\_\_  
(sæt en streg på kortet pr. sted)

Kryds for hver stok af i nedenstående skema, om der er sket jordtilførsel til vandløb (ja/nej). Kun for steder med jordtilførsel til vandløb, gennemføres følgende fulde beskrivelser/opmålinger:

Stok nummer	Jordtilførsel til vandløb (ja/nej)	Bræmme bredde (m)	Hvor langt er veldefineret sandfane nået ind i bræmmen ? (m)	Sandfanens længde (m)	Ovenbredde ved maximum rille dimension (cm)	Gennemsnitlig rilledybde (10,50,90 %) (cm)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						

## Appendiks A

### Fordampning

Fordampningen sker med potentiel rate fra overflade magasinet,  $U$ . Hvis potentiel fordampning ikke kan opretholdes sker fordampningen fra den umættede zone, som aktuel fordampning.

Den aktuelle fordampning fra rodzonen i oplandet antages at være proportional med den potentielle fordampning, hvor proportionalitetsfaktoren er det relative vandindhold i den umættede zone ( $L/L_{\max}$ ). Den potentielle fordampning antages kendt for hver dag, dermed kan den aktuelle fordampning beregnes som :

$$E_a = E_p \cdot L / L_{\max} \quad (1)$$

Hvor :  $E_a$  = aktuel fordampning;  $E_p$  = potentiel fordampning;  $L$  = vandindhold i den umættede zone;  $L_{\max}$  = maksimalt vandindhold i den umættede zone.

Vigtigste parameter :  $L_{\max}$

### Overfladisk afstrømning

Overfladisk afstrømning genereres når vandindholdet ( $U$ ) i overflademagasinet er større end det maksimale indhold ( $U_{\max}$ ). Når overflademagasinet er fyldt genereres der infiltration, desuden vil en del af den overskydende nedbørsmængde ( $P_N$ ) blive til overfladisk afstrømning. Hvor stor en del af  $P_N$  der bliver til overfladisk afstrømning er afhængig, dels af vandindholdet i den umættede zone, dels af hvor permeabel jorden i oplandet er. Hvis vandindholdet i den umættede zone er lavt vil en større del af  $P_N$  gå til infiltration og dermed til opfyldning af den umættede zone. Angivelse af jordens permeabilitet i oplandet sker vha. parameteren  $CQ_{OF}$ , som antager en værdi mellem 0 % og 100 %. Overfladeafstrømningen beregnes som :

$$Q_{OF} = \begin{cases} CQ_{OF} \cdot \frac{L/L_{\max} - T_{OF}}{1 - T_{OF}} \cdot P_N & \text{for } L/L_{\max} > T_{OF} \\ 0 & \text{for } L/L_{\max} \leq T_{OF} \end{cases} \quad (2)$$

Hvor :  $Q_{OF}$  = overfladisk afstrømning (mm);  $T_{OF}$  = tærskelværdi for overfladisk afstrømning;  $CQ_{OF}$  = jordens permeabilitet i oplandet;  $P_N$  = overskydende nedbørsmængde (mm).

Parameteren  $T_{OF}$  angiver en tærskelværdi for hvornår der kan ske overfladisk afstrømning i oplandet. Hvis vandindholdet i den umættede zone er lavere end denne værdi sker der ingen overfladisk afstrømning.

Vigtigste parametre :  $L_{\max}$ ,  $CQ_{OF}$ ,  $T_{OF}$ .

### Interflow

Interflow genereres fra overflademagasinet, når der er vand i magasinet. Interflow varierer lineært med det relative vandindhold i den umættede zone. Parameteren  $T_{IF}$  angiver en tærskelværdi for hvornår der kan ske interflow i oplandet. Hvis vandindholdet i den umættede zone er lavere end denne værdi, forekommer ingen interflow.

$$Q_{IF} = \begin{cases} (CK_{IF})^{-1} \cdot \frac{L/L_{max} - T_{IF}}{1 - T_{IF}} \cdot U & \text{for } L/L_{max} > T_{IF} \\ 0 & \text{for } L/L_{max} \leq T_{IF} \end{cases} \quad (3)$$

Hvor :  $Q_{IF}$  = interflow (mm);  $CK_{IF}$  = er tidskonstanten for interflow (timer);  $T_{IF}$  = Tærskelværdi for interflow;  $U$  = aktuelt vandindhold i overflademagasinet (mm).

$T_{IF}$  har samme betydning for interflow som  $T_{OF}$  har for overfladisk afstrømning.  $CK_{IF}$  angiver hvor meget interflow der genereres i oplandet, da  $1/CK_{IF}$  er mængden af genereret interflow pr. time.

Vigtigste parametre :  $L_{max}$ ,  $CQ_{IF}$ ,  $T_{IF}$ .

### Routing af overfladisk afstrømning og interflow

Overfladisk afstrømning og interflow tænkes at afstrømme fra to lineære magasiner i serie, derfor routes den samlede overfladeafstrømning og interflow vha. følgende formel :

$$CK = \begin{cases} CK_{Par} & \text{for Flow} \leq \text{Flow}_{min} \\ CK_{Par} \cdot \left( \frac{\text{Flow}}{\text{Flow}_{min}} \right)^{-\beta} & \text{for Flow} > \text{Flow}_{min} \end{cases} \quad (4)$$

Hvor:  $CK_{par}$  = Routing parameter (timer); Flow = afstrømning (overfladisk afstrømning eller interflow i mm t<sup>-1</sup>);  $\text{Flow}_{min}$  = Nedre grænse for ikke lineær routing (0,4 mm t<sup>-1</sup>);  $\beta$  = Routing koefficient svarende til Chezy's formel ( $\beta = -0,33$ ).

Routing af overfladisk afstrømning og interflow angiver i realiteten hvor lang tid afstrømningen er om at nå frem til målestationen, og  $CK_{par}$  afhænger derfor af oplandets størrelse. Jo større opland, jo større  $CK_{par}$  værdier.

Ved brug af formel 4 sikres af overfladeafstrømningen routes vha. kinematisk strømnings dynamik /7/. Når der kun forekommer underjordisk afstrømning routes dette lineært i overensstemmelse med dynamiske formler for grundvandsstrømning.

### Baseflow / grundvandsafstrømning

Grundvandsafstrømningen fra oplandet afhænger af hvor stor en del af overskudsnedbøren  $P_N$  der når grundvandet. Mængden af perkolation afhænger af det relative vandindhold i den umættede zone. Parameteren  $T_G$  angiver en tærskelværdi for hvornår der kan ske perkolation i oplandet. Hvis vandindholdet i den umættede zone er lavere end denne værdi, forekommer der ingen perkolation.  $T_G$  har

samme betydning for perkolationen som  $T_{OF}$  har for overfladisk afstrømning. På baggrund af perkolationen til grundvandet beregnes grundvandsstanden i oplandet.

$$G = \begin{cases} (P_N - Q_{OF}) \cdot \frac{L/L_{max} - T_G}{1 - T_G} & \text{for } L/L_{max} > T_G \\ 0 & \text{for } L/L_{max} \leq T_G \end{cases} \quad (5)$$

Hvor :  $G$  = perkolation;  $P_N$  = overskuds nedbør;  $Q_{OF}$  = Overflade afstrømning;  $T_G$  = tærskelværdien for perkolation.

Grundvandsafstrømningen fra oplandet beregnes som produktet af tidskonstanten for baseflow ( $CK_{BF}$ ), grundvandsmagasinets specifikke ydelse ( $S_y$ ) og forskellen mellem aktuel grundvandsstand ( $GWL$ ) og minimumsgrundvandsstanden ( $GWLBF_0$ ) hvor der genereres baseflow.

$$BF = \begin{cases} (GWLBF_0 - GWL) \cdot S_y \cdot (CK_{BF})^{-1} & \text{for } L/L_{max} > T_G \\ 0 & \text{for } L/L_{max} \leq T_G \end{cases} \quad (6)$$

Betydende parametre :  $L_{max}$ ,  $T_G$ ,  $S_y$ ,  $GWLBF_0$ ,  $CK_{BF}$

### Model parametre

I dette afsnit gives en kort introduktion til parametrene i modellen, og deres fysiske betydning. Desuden gives mulige intervaller hvori parameterværdier kan findes.

#### $U_{max}$ , $L_{max}$ (mm)

Disse parametre angiver det maksimale indhold i hhv. overflademagasinet og i den umættede zone.  $U_{max}$  værdien angiver i princippet den vandmængde der fanges af vegetationen og i ruheder på jorden. Det er særdeles svært fysisk at beregne værdier for  $U_{max}$ , og som tommefingerregel kan den sættes til  $0,1 \cdot L_{max}$ .

$L_{max}$  kan tolkes som det maksimale vandindhold i den umættede zone. En minimumsværdi for  $L_{max}$  kan udregnes som forskellen mellem vandindholdet ved markkapacitet og ved visnegrænsen for en given roddybde.  $L_{max}$  afhænger jordtypen samt plantearten på jorden. I Bilag 1 er givet værdier for vandindholdet i forskellige jordtyper, og i Bilag 2 er givet forskellige roddybder for forskellige afgrøder.

Fordampningen i oplandet er afhængig af  $L_{max}$  og  $U_{max}$ , så derfor er disse to parametre særdeles vigtige i kalibreringen af vandbalancen for oplandet.  $U_{max}$  er en vigtig parameter idet der ikke forekommer overfladeafstrømning i tørre perioder så længe nedbøren ikke overstiger  $U_{max}$ . I våde perioder vil der ingen overfladeafstrømning eller infiltration forekomme så længe  $U < U_{max}$ .

### **$CQ_{OF}$ : Overfladeafstrømningskoefficienten (relativ)**

$CQ_{OF}$  er en særdeles vigtig parameter idet den angiver hvor stor en del af overskudsnedbøren der går direkte til overfladeafstrømning, og hvor stor en del der infiltrerer til den umættede zone og til grundvandet.

Lave værdier for denne parameter vil forekomme i oplande, med flad topografi og grove sandede jorder; mens høje værdier forekommer i oplande med lerede jorder eller grundfjeld. I befæstede oplande vil parameteren antage høje værdier.  $CQ_{OF}$  antager værdier mellem 0 og 1. I danske lerede oplande vil værdierne typisk ligge mellem 0,4 og 0,6. Lavere værdier kan forekomme i meget sandede oplande /1/.

### **$CK_{IF}$ - Tidskonstanten for interflow (timer)**

Denne parameter kan ikke tilskrives nogen direkte fysisk/hydrologisk betydning men er afhængig af responsen i oplandet og oplandets størrelse.  $(CK_{IF})^{-1}$  angiver hvor stor en del af vandet i overflademagasinet, U der går til interflow hver time.  $CK_{IF}$  bestemmer således størrelsen af interflowkomponenten. Typiske værdier ligger mellem 500 - 1000 timer.

### **$C_{area}$ (relativ)**

Parameteren  $C_{area}$  beskriver forholdet mellem det topografiske opland og grundvandsoplandet,  $\frac{A_{Topografisk}}{A_{Grundvand}}$ . I tilfælde hvor grundvand mistes til andre vandløb sættes parameteren lavere end 1. Hvis oplandet "stjæler" grundvand fra andre oplande, sættes parameteren højere end 1.  $C_{area}$  kan bestemmes ved at opmåle det topografiske opland og grundvandsoplandet. Hvis forholdet mellem topografisk- og grundvandsopland ikke kendes kan parameteren estimeres ud fra følgende ligning :

$$C_{area} = \frac{A_{Opland}}{A_{Normal}} \quad (7)$$

Her sættes de afstrømmede vandmængder fra oplandet pr. år ( $A_{Opland}$ ) i relation til den typiske årlige afstrømningsværdi for regionen ( $A_{Normal}$ ).

### **$GWBF L_0$ (m. u. terræn)**

Denne parameter angiver den dybde hvor grundvandsafstrømningen begynder. Dette betyder at der ingen grundvandsafstrømning sker, så længe grundvandsspejlet er under niveauet på  $GWBF L_0$ .

### **$S_y$ - Grundvandsmagasinets specifikke ydelse (relativ)**

Den specifikke ydelse,  $S_y$ , afhænger af jordtypen, og ligger typisk i intervallet 0,01 til 0,30. Værdien for  $S_y$  kan udregnes som forskellen mellem vandindholdet i jorden i mættet tilstand og vandindholdet



ved markkapacitet. Værdierne vandindholdet ved mætning og ved markkapacitet findes i Bilag 1.

### **$CK_{BF}$ (timer)**

Dette er tidskonstanten for grundvandstilstrømningen.  $(CK_{BF})^{-1}$  angiver mængden af grundvandstilstrømning pr. time fra grundvandsmagasinet.  $CK_{BF}$  kan bestemmes fra recessionskurven for hydrografen i tørre perioder. Typiske værdier for  $CK_{BF}$  for mindre oplande er i størrelsesorden 500 - 2000 timer.

### **$GWL_{min}$ (m. u. terræn)**

Denne parameter angiver grundvandsstanden, hvor der sker grundvandsudstrømning på jordoverfladen, og der således bliver tale om overfladisk afstrømning direkte fra grundvandsmagasinet.

### **$T_{OF}$ , $T_{IF}$ , $T_G$ (relativ)**

Disse parametre angiver tærsklerne for hhv. overfladisk afstrømning, interflow og grundvandstilstrømning. Når parametrene antager værdier under  $L/L_{max}$  vil der ingen afstrømning ske fra det på gældende afstrømningskomponent.

Rent fysisk afspejler værdierne heterogeniteten i oplandet, således at små homogene oplande vil have større værdier af de tre parametre, end et stort heterogent opland. Som det kan ses at formlerne ovenfor mister de tre tærskelværdier deres betydning når  $L = L_{max}$ .

$T_{OF}$  kan estimeres i forbindelse med et nedbørstilfælde, der ikke giver anledning til nogen overfladisk afstrømning. I et sådant tilfælde vil  $T_{OF}$  være lig med  $L/L_{max}$  eller højere. Generelt har disse tre parametre ikke den store betydning under danske forhold. De tre parametre kan relativt let kalibreres ind.  $T_{OF}$ ,  $T_{IF}$  og  $T_G$  antager værdier mellem 0 og 1. Kalibreringer på små oplande giver som regel værdier mellem 0,5 og 1,0. Da parametrene ikke er særligt følsomme, er fastlæggelsen af disse ikke specielt vigtig, set over en længere periode.

### **$CK_1$ , $CK_2$**

Disse parametre er tidskonstanter for "routing" af overfladisk afstrømning og interflow. Jo større oplandet er jo større skal værdierne af  $CK_1$  og  $CK_2$  være. De to tidskonstanter kan i de fleste tilfælde sættes lig hinanden, hvilket letter selve kalibreringen. Typiske værdier for oplande på omkring 10 km<sup>2</sup> er 10-50 timer.

## Appendiks B

*Beskrivelse af metode til af modellering af Farre og Prisbro drænoplande i Gelbæk oplandet.*

Som alternativ til hydrograf analysen ovenfor kan der alternativt laves en anden estimering af den hurtige afstrømningskomponent. Ved denne metode kræves kendskab til og målinger drænafstrømningen fra oplandet.

Ved at skalere oplandenes afstrømning til hele oplandet blev modellens hurtige afstrømningskomponent tjekket. De to drænoplande udgør hver 25 % af Gelbæk oplandet. Opstillingen af modellen på disse to oplande forgår på fuldstændig samme måde som på Gelbæk oplandet, med den forskel at der kun haves afstrømningsværdier for en 5 års periode for disse to oplande. Parametertildeling og kalibreringsprocedure er fuldstændig det samme som i Gelbæk oplandet. Oplandet til Farre drænet er i alt 0,044 km<sup>2</sup> og oplandet til Prisbro drænet er i alt 0,113 km<sup>2</sup>.

Den hurtige afstrømnings komponent består primært af drænafstrømning og by-pass strømning. Ved at have målinger i mindre drænoplande kan man altså modellere den hurtige dræn afstrømning fra drænoplandet på lignende måde som fra hovedoplandet. Når man også kender den arealmæssige udbredelse af dræn i oplandet kan det lille drænopland skaleres op til hovedoplandet og den samlede afstrømning via dræn kan beregnes.

I Gelbæk oplandet findes to typer af drænoplande. Én type hvor der ingen grundvandsstrømning finder sted, og én type hvor en mindre del af afstrømningen sker som grundvandsafstrømning. På baggrund af kortlægninger af drænsystemet i oplandet er det fundet at to typer af drænoplande hver repræsenterer 25 % af oplandet.

Ved at modellere afstrømningen fra de to drænoplande vha. NAM-Modellen kan der gives et bud på den samlede hurtige afstrømning fra hele oplandet. Dette resultat kan sammenlignes med resultatet fra modelleringen af hele oplandet.

Der foreligger målinger fra de to drænoplande i perioden maj 1993 til juni 1995. På baggrund af disse målinger blev NAM modellen sat op kalibreret ind på denne periode. Resultaterne i form af afstrømningskurver samt opsætningen af modellen på de drænoplande er vist i bilag 3, figur 1 og 2.

Den hurtige afstrømning fra de to oplande blev modelleret til hhv. 270 mm år<sup>-1</sup> og 251 mm år<sup>-1</sup>. Omregnes dette til en gennemsnitsvandføring, under forudsætning af at hver type drænoplande dækker 25 % af oplandet, fås hhv. 24 l s<sup>-1</sup> og 22 l s<sup>-1</sup>. I alt kan drænafstrømningen altså fra Gelbæk oplandet modelleres til 46 l s<sup>-1</sup>. Omregnes den hurtige afstrømningskomponent fra hele oplandet fås ligeledes en vandføring på 46 l s<sup>-1</sup>.

Grundet den korte simuleringsperiode og de små oplande er der lidt usikkerhed omkring resultatet. Det giver dog en ide om at den hurtige afstrømningskomponent kan estimeres ved at modellere drænoplandene separat.

# Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning indenfor natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

URL: <http://www.dmu.dk>

Danmarks Miljøundersøgelser  
Frederiksborgvej 399  
Postboks 358  
4000 Roskilde  
Tlf.: 46 30 12 00  
Fax: 46 30 11 14

*Direktion og Sekretariat*  
*Forsknings- og Udviklingssektion*  
*Afd. for Atmosfærisk Miljø*  
*Afd. for Havmiljø*  
*Afd. for Mikrobiel Økologi og Bioteknologi*  
*Afd. for Miljøkemi*  
*Afd. for Systemanalyse*  
*Afd. for Arktisk Miljø*

Danmarks Miljøundersøgelser  
Vejsøvej 25  
Postboks 314  
8600 Silkeborg  
Tlf.: 89 20 14 00  
Fax: 89 20 14 14

*Afd. for Sø- og Fjordøkologi*  
*Afd. for Terrestrisk Økologi*  
*Afd. for Vandløbsøkologi*

Danmarks Miljøundersøgelser  
Grenåvej 12-14, Kalø  
8410 Rønde  
Tlf.: 89 20 17 00  
Fax: 89 20 15 15

*Afd. for Landskabsøkologi*  
*Afd. for Kystzoneøkologi*

Publikationer:

DMU udgiver faglige rapporter, tekniske anvisninger, temarapporter, samt årsberetninger. Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web. I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer.