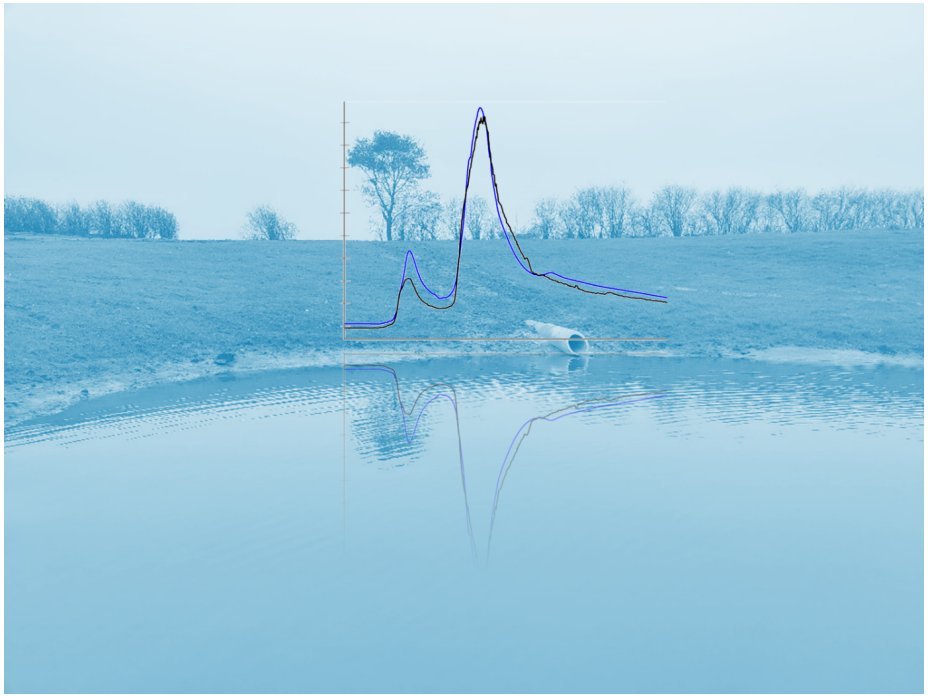
Målinger og kalibrering af afløbsmodeller



Forfattere: Daniel Lepirica Brødbæk, Ane Loft Mollerup, Kjartan Gunnarsson Ravn, Dan Rosbjerg og Ole Mark

Reference: Regnudvalget - SVK / Spildevandskomitéen

KRÜGER VEOLIA

Hvorfor nye rapporter?

- Skrift 27 beskriver funktionspraksis
- Rapporterne samler erfaringer med målinger og kalibrering
- Målet er et bedre grundlag for ingeniørens valg

Spørgsmål – da vi startede…

Når Skrift 27 benyttes, så er det vel primært, til dimensionering af ledninger….

Tanker som gruppen skal forholde sig til:

1. *Mener vi virkelig, at volumenkalibreringen er den højeste prioritet/bedste løsning eller er der alternativer der bliver brugt rundt omkring ?*

2. *Hvordan laver man så rent faktisk en kalibrering med vandbalancen som den højeste prioritet.*

3. *Ud over Skrift 27 hvad så med alle de andre situationer, hvor vi bruger modeller? Hvor skal der kalibreres der ?*

Hvad skulle vi dække i rapporten ?

1. Vejledning i kalibrering
2. Vejledning i anvendelse af målinger til modellering
3. Strategier for opstilling af målinger
4. Anbefalinger til valg af målemetoder
5. Systematisk bearbejdning af måleresultater

Hvad kom der i rapporten ?

Rapport	Fokus
Hovedrapport	Kalibreringens formål, metode, vandbalance og volumenkalibrering
Delrapport 1	Opbygning af hydraulisk model og standardværdier
Delrapport 2	Indledende kvalitetssikring af model før kalibrering
Delrapport 3	Planlægning og gennemførelse af målekampagner

Hvad skal modellen bruges til?

1. Indledning 7

2. De 6 trin i en typisk arbejdsgang 8

3. Kalibrering af modellen 10

3.1 Grundlæggende principper 11

3.2 Volumenkalibrering: Tørvejrsafstrømning 13

3.3 Volumenkalibrering: Regnafstrømningen 18

3.4 Kalibrering af rørmodel: Dynamik og energitab 20

4. Validering af modellen 23

5. Overvejelser ved brug af en kalibreret model 25

5.1 Gyldighedsområdet for kalibreringen 25

6. Referencer 28

Fra formål til valideret model

1. Formål og funktionskrav
2. Opbygning af model
3. Indledende kvalitetssikring
4. Målinger og verifikation
5. Kalibrering
6. Validering

Hvad skal modellen bruges til?

1. Ledninger og opstuvning: vandstand og dynamik
2. Bassiner og overløb: volumen, varighed og fordeling

- Formålet afgør, hvad der skal måles og vurderes

Hvilke spørgsmål gik vi ind med ?

Hvornår er en model velkalibreret? Hvornår er man i mål?

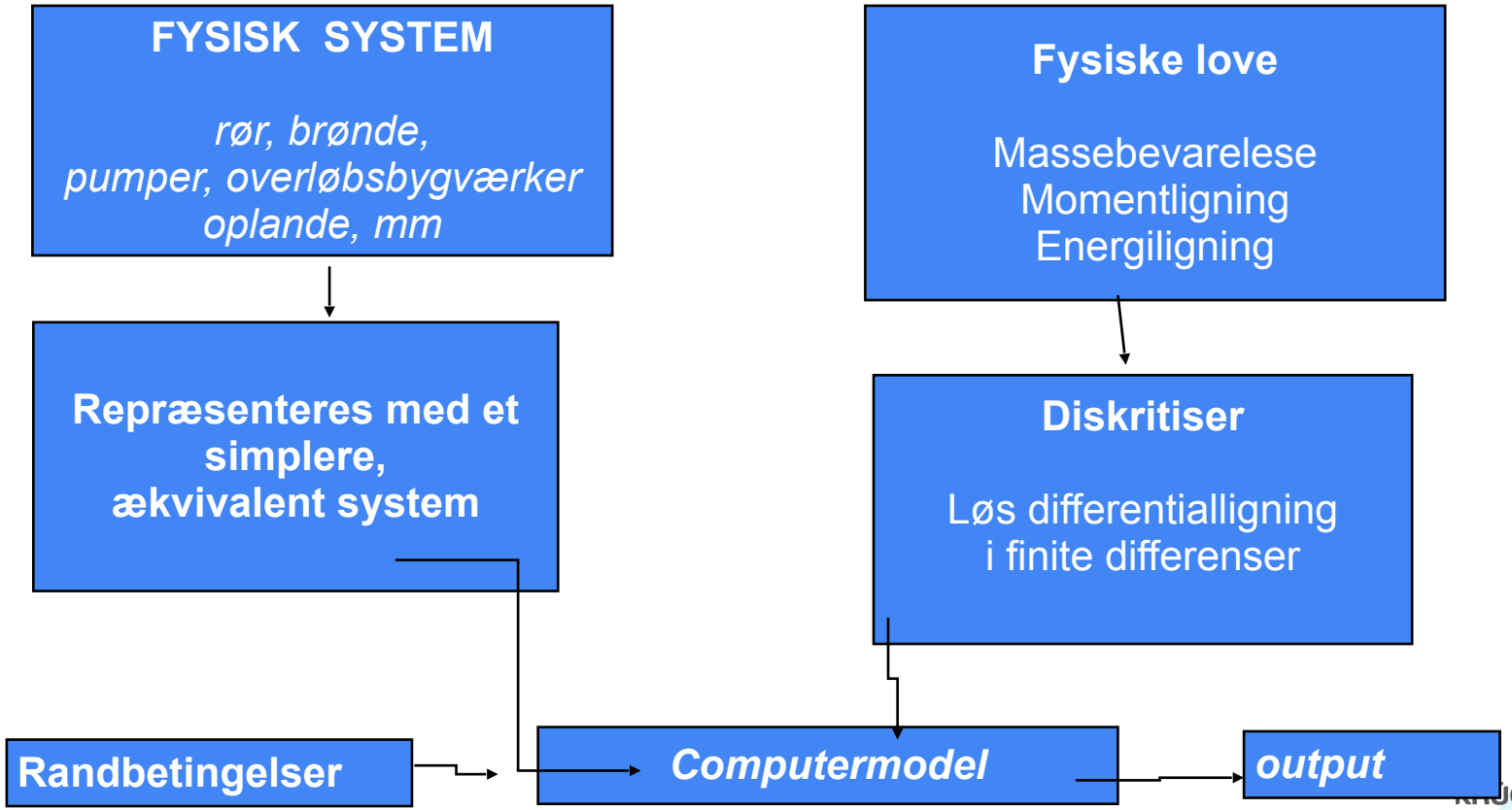
Hvordan når vi frem til en velkalibreret model?

Kalibrering af modeller - rækkefølge

Få de ”sikre” forhold på plads først (isolere påvirkning/ randbetingelse og vurdere responsen i modellen stepvist)

1. Spildevandsstrøm i tørvejr
2. Kort, kraftig sommerregn (hurtig afstrømning fra befæstede flader)
3. Afstrømning i langvarige, våde perioder (indsivning og mere diffus tilstrømning)

Hvad er en model ?



Vi lægger Danmark ind i computeren

Kalibrering af modeller - rækkefølge

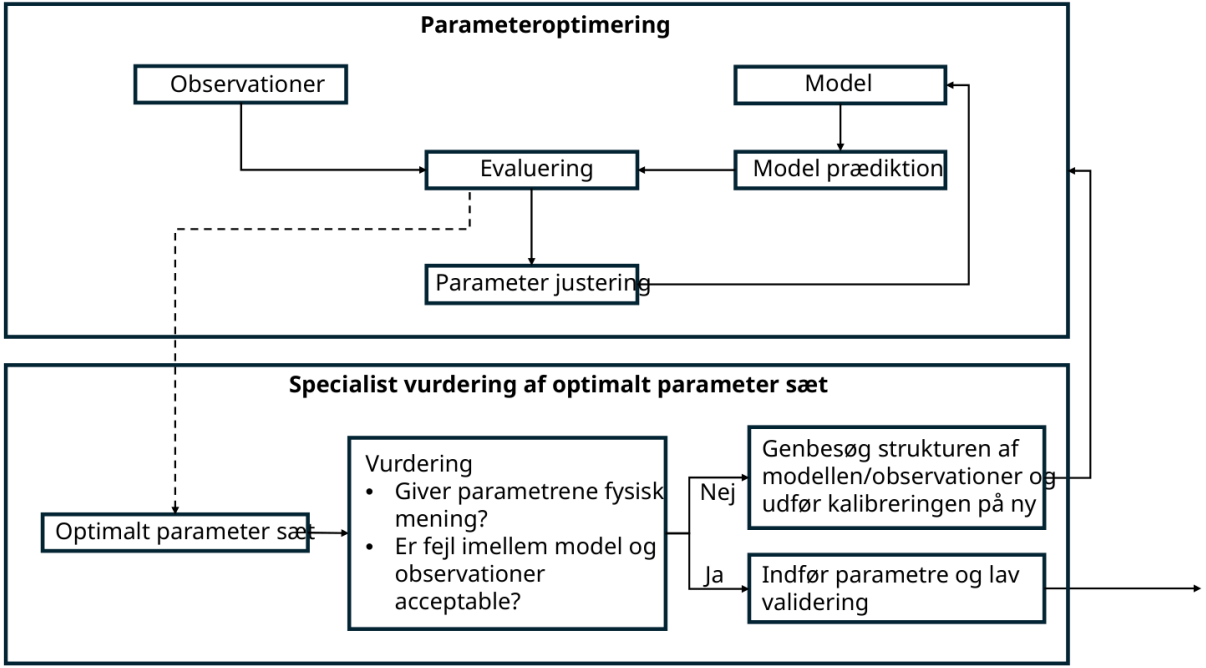
Den gode nyhed!

Hvis modellen fodres med kvalitetsdata, så giver den fornuftige resultater.

Bliv ved med at lede efter forklaring på afvigelser ved at kigge på målingerne og kigge på modellens fysiske udformning/styringer.

Lad være med at skrue på parametre før til allersidst

Principper i kalibreringsprocessen



Kilde: Kalibrering af afløbsmodeller, figur 1

Afvigelser har flere mulige årsager

Kontrollér målinger og regninput

Undersøg modelstruktur og drift

Vurdér numerik og parametre



Uventede forhold i afløbssystemet
Kilde: Delrapporterne, figur 8

Målekampagnen skal svare på et spørgsmål

- Hvor i systemet skal modellen være troværdig?
- Hvilke regnhændelser og driftssituationer er relevante?
- Hvilke målere og placeringer giver den nødvendige viden?

Vedrørende målinger

Inddrag al tilgængelige viden om afløbssystem i den periode hvor der måles (Læs: inddrag driften!)

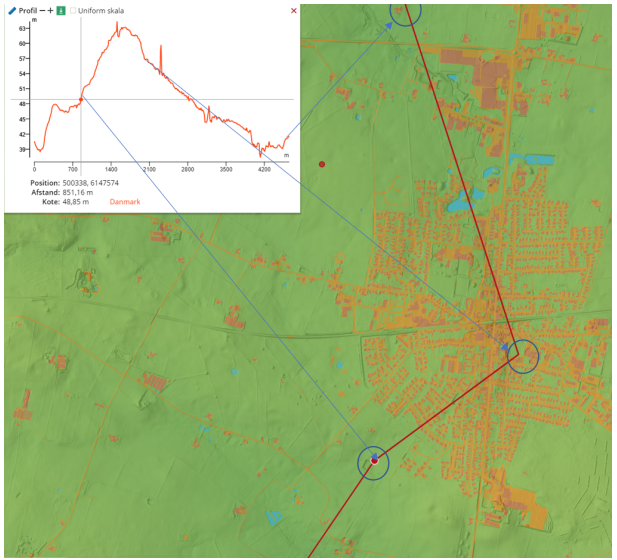
- Styringer
- Observationer/klager
- Problemer, fx fejl på pumper eller spjæld
- Almindelig drift, spuling etc.
- Anlægsarbejde

Målinger er grundlaget for kalibreringen

Regnens fordeling i tid og rum er vigtig

Kontrollér målesteder og data løbende

Brørup: tre regnmålere i samme område



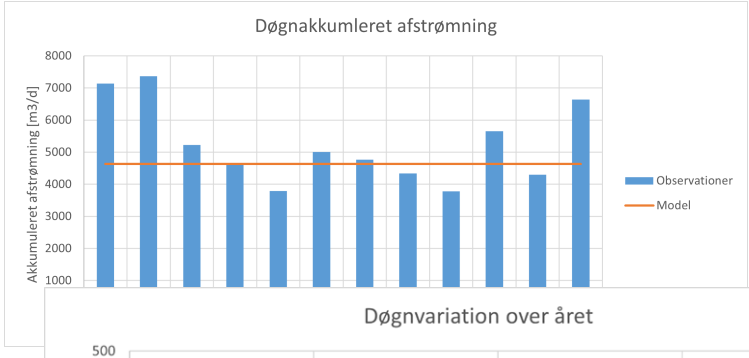
Regnmålere i Brørup
Kilde: Delrapporterne, figur 2

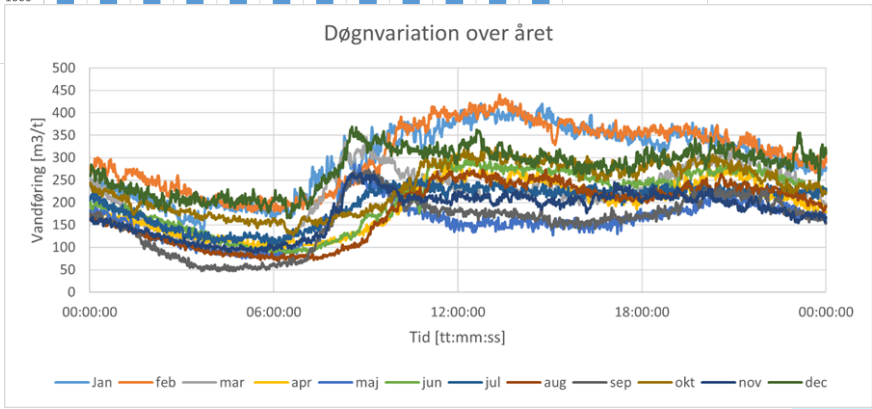
Volumenkalibrering: tørvejr først

Beskriv døgnvariation i spildevandet

Vurder uvedkommende vand

Sammenlign flere tørvejrsperioder



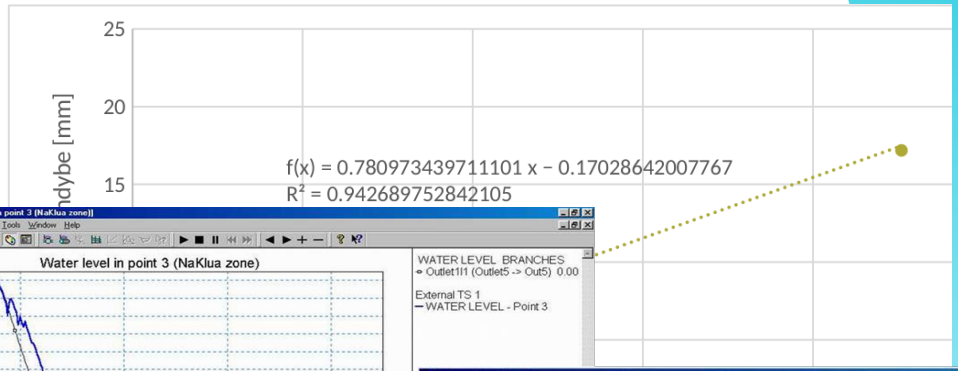


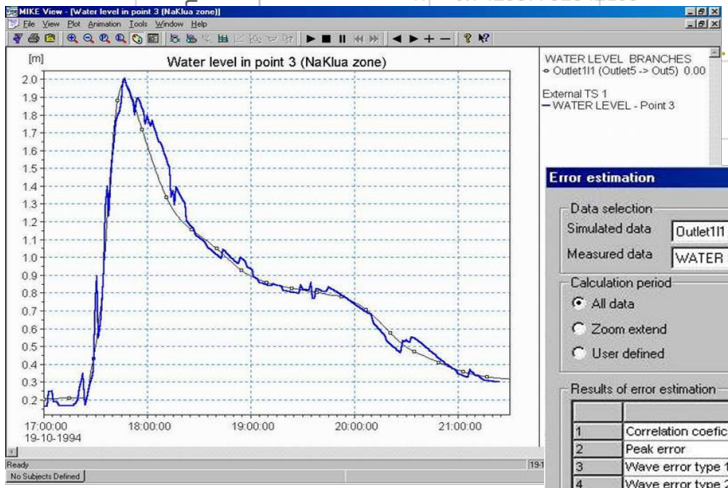
Volumenkalibrering: regnvejr

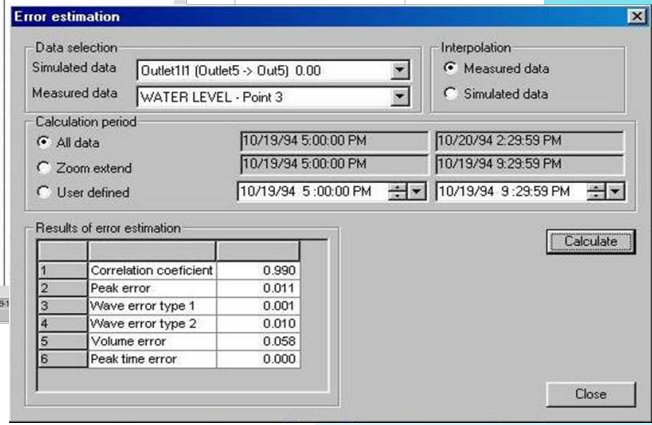
Sammenlign regn og afstrømmet volumen

Hældning: afløbskoefficient

Skæring: estimat for initialtab







Modelresultat – oversvømmelser

Modelresultat - tjek ✓

Kalibrering af modeller – ”godkendelse”

Dine kollegaer og samarbejdspartnere er eksperter på afløbssystemer, selvom de ikke sidder med hydrauliske modeller til dagligt

Du kan med fordel inddrage dem til kvalitetssikring undervejs. (så tidligt som muligt)

Tag godt imod deres kommentar om fejl og mangler og se det som det er, en mulighed for tidligt at rette op på målinger eller forbedre modellen

Når der breder sig en enighed om at modellen er retvisende – så er du i mål 😊

Hvad tager vi med hjem?

- Rapporterne giver praktisk grundlag for kalibrering af hydrauliske afløbsmodeller i Danmark
- Anbefalet arbejdsgang: **6 trin** fra formålsafklaring til validering
- Kalibrering tilpasses **modellens formål** (bassindimensionering, ledningsprojektering, opstuvning, overløb, klimatilpasning)
- Nøgleanbefalinger:
  - Start altid med **volumenkalibrering** – tørvejr før regnvejr
  - Brug **kvalitetssikrede målinger** – løbende kontrol under måleperioden
  - Dokumentér **gyldighedsområde og usikkerhed** tydeligt
  - Inddrag **driftsfolk** tidligt i processen
- Rapporten er et **inspirationsgrundlag** – ikke en egentlig step-by-step vejledning