

2017:00785 - Åpen

Rapport

Operasjonalisering av fordelt tilsigsmodell i vannkraftbransjen

Forfatter(e)

Sjur Anders Kolberg
Beate Sæther



SINTEF Energi AS

Postadresse:
Postboks 4761 Sluppen
7465 TrondheimSentralbord: 73597200
Telefaks: 73597250energy.research@sintef.no
www.sintef.no/energi
Foretaksregister:
NO 939 350 675 MVA

Rapport

Operasjonalisering av fordelt tilsigsmodell i vannkraftbransjen

EMNEORD:Tilsig
Fordelte modeller
Hydrologi
Operasjonalisering
Vannkraft**VERSJON**

1.0

DATO

2017-12-04

FORFATTER(E)Sjur Anders Kolberg
Beate Sæther**OPPDRAKSGIVER(E)**

Energi Norge

OPPDRAKSGIVERS REF.

Oppdragsgivers referanse

PROSJEKTNR

12x855

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

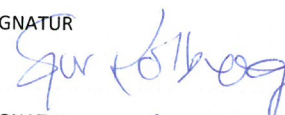
9+ vedlegg

SAMMENDRAG**Sammendrag**

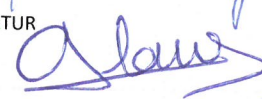
Denne rapporten beskriver IPN-prosjektet Operasjonalisering av fordelt hydrologisk modell, utført av SINTEF Energi og Powel A/S for Energi Norge i perioden 2013-2015. Prosjektets formål var å bringe romlig fordelte tilsigsmodeller fra eksperimentstadiet fram til operasjonalisering i vannkraftbransjen, både som modul i Powels SmG-programvare, og som selvstendig programvare for hydrologiske analyser. Gjennom DIM-leveransen fra Powel og Enki-leveransen fra SINTEF er prosjektets to hovedmål begge tilfredsstilt. Integrasjonen mellom de to verktøyene er ikke så tett som prosjektplanen la opp til.

UTARBEIDET AV

Sjur Kolberg

SIGNATUR**KONTROLLERT AV**

Julie Charmasson

SIGNATUR**GODKJENT AV**

Knut Samdal

SIGNATUR**RAPPORTNR**

2017:00785

ISBN

978-82-14-06624-1

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
1.0	2017-12-04	Kvalitetssikret versjon

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	4
2	Målsetting	4
	Bakgrunn og motivasjon.....	4
3	Resultater	5
3.1	Powels arbeid: DIM	5
3.2	SINTEFs arbeid: Enki.....	6
3.3	Sammenhenger og ulikheter mellom DIM/SHyFT og Enki.....	7
4	Beskrivelse av arbeidet	8
5	Prosjektgjennomføring og ressursbruk	8
6	Nytteverdi	8
7	Videre formidling og utnyttelse av resultatene	9
8	Metodebeskrivelser	9

BILAG/VEDLEGG

Metodebeskrivelser

1 Innledning

Denne rapporten beskriver IPN-prosjektet *Operasjonalisering av fordelt hydrologisk modell*, utført av SINTEF Energi og Powel A/S for Energi Norge i perioden 2013-2015 (prosjekt Va-43). Prosjektet har vært støttet fra Norges Forskningsråds ENERGIX-program (NFR-prosjekt nr 226225) og av følgende partnere, som også har utgjort styringskomiteen:

- Lyse Handel AS v/Camilla Holmebakken Øvrebekk
- Glommens og Laagens Brukseierforening v/Hans-Christian Udnæs
- E-CO Energi AS v/Geir Johne Carlsen
- Statkraft A/S v/Oddbjørn Bruland, senere Gaute Lappegard
- Trønderenergi Kraft AS v/Frode Vassenden
- Norsk Hydro Energi AS v/Tor Wallevik Hjukse
- NTE Energi AS v/Bjørn Sæther
- NTNU v/Knut Alfredsen
- UMB v/Nils-Otto Kitterød
- UiO v/John F. Burkhart

2 Målsetting

Prosjektets formål var å bringe romlig fordelte tilsigsmodeller fra eksperimentstadiet fram til operasjonalisering i vannkraftbransjen. Dette skulle etter planen skje ved å etablere den eksisterende prototypen Enki som velfungerende verktøy i prøvedrift, både som modul i Powels SmG-programvare, og som selvstendig programvare for hydrologiske analyser.

Bakgrunn og motivasjon

Det nye modellverktøyet har tre innovative elementer som gjorde prosjektet egnet som innovasjonsprosjekt i Forskningsrådets ENERGIX-program. Det første er gridfordelt tilsigsmodellering, som gir vesentlig bedre behandling av romlig variasjon i inngangs- og tilstandsvariable enn dagens HBV-modell. En fordelt modell utnytter mer av informasjonen i værvarslingsmodellene, som nå kjøres operasjonelt med en gridoppløsning på 2.5 km. I tillegg legger fordelte modeller også grunnlaget for GIS-analyse og kartbasert visualisering av tilstand og prognose. Dette muliggjør effektiv formidling av større informasjonsmengder til beslutningstagere innen krafthandel og produksjonsplanlegging. Også NVEs web-portal <http://www.senorge.no> er et eksempel på formidling av fordelt modellinformasjon.

Det andre elementet er regional kalibrering og simulering, der en i stedet for å tilpasse et modelloppsett til hvert enkelt magasin separat, samler ett eller flere vassdrag i et felles modelloppsett. En bruker så flere (regulerte og uregulerte) vannføringsserier for å estimere modellparametre, og oppnår en mer robust kalibrering. Samtidig oppnås en modell som i større grad kan utnytte tilgjengelig oppdateringsinformasjon fra målestasjoner, satellittbilder og snømålinger.

Den regionale modellen gir også mulighet for å ta ut prognoser for umålte bekkeinntak eller vannmerker med konsesjonskrav, uten å sette opp egne modeller for disse.

Det tredje elementet er overgangen fra proprietær programvare til åpen kildekode. Denne omleggingen er gitt av utviklingshistorikken for fordelte modeller i Norge. Statkraft har siden 2002 finansiert FoU ved SINTEF Energi som blant annet har munnet ut i Enki; og siden lisensiert programvaren som åpen kildekode under GNU-LGPL. Senere er det gjort et arbeid med å skille ut først brukergrensesnittet og deretter rammeverk-koden i Enki, slik at de hydrologiske kjerne-rutinene ligger isolert i et bibliotek med åpen kildekode. Dette kjerne-biblioteket kan enhver laste ned, utvide, og lage overbygning og omgivelsesprogramvare til under både åpne og proprietære lisenser. Strategien åpner for en vesentlig bedre sammenknytning mellom hydrologisk FoU og utvikling/salg av operativ programvare for tilsigsprognoser, ved å legge til rette for hurtig flytting av moduler fra utvikling og evaluering til prøvedrift.

3 Resultater

Prosjektet hadde to hovedmål: Et nytt modellverktøy implementert i Powels programvare som de fleste norske kraftverk er kunder og brukere av, og et interaktivt analyseverktøy bygd over samme kjerne, men rettet mer inn mot analyser og evaluering enn mot daglig drift. Prosjektet har nådd begge hovedmålene, selv om endringer underveis medførte forandringer både i planlagt progresjon og i sluttresultat. Parallelt med prosjektet satte Statkraft i gang en re-implementering av de mest brukte hydrologirutinene i Enki, uten å vente på Powel og den evalueringsfasen som lå i prosjektet. Statkrafts prototype SHyFT (Statkraft Hydrological Forecasting Toolbox) ble presentert for styringskomiteen på møtet i januar 2015, og er gjort åpent tilgjengelig med samme åpen kildekode-lisens som Enki. Komiteen besluttet etter dette å be Powel ta utgangspunkt i denne, i stedet for i den mer FoU-innrettede og interaktive Enki, som simuleringskjerner i sitt operasjonelle verktøy SmG.

3.1 Powels arbeid: DIM

I prosjektets siste år har Powel integrert de hydrologiske modellrutinene knyttet til kildekode i Statkrafts reimplementerte versjon av Enki (SHyFT), basert på Powel Mesh. Dette er en nyutviklet datahånterings-løsning fra Powel basert på en objektmodell-tjeneste med høy ytelse som representerer en predefinert objektmodell av regionstrukturen med celledata, hydrologiske metoder, vassdrag/delfelt, inndata, parametere, tilstandsdata og resultatdata.

Powel har tatt SHyFT-kjernen inn som et bibliotek i sin kode, slik LGPL-lisensen tillater. Powel har laget en dll som konverterer fra strukturen i Powel Mesh til datastrukturen som SHyFT kjernen bruker for inndata og resultater fra beregning. Både Powel Mesh og SHyFT-kjernen er skrevet i C++. Produktet som disse komponentene utgjør er blitt døpt til **Powel DIM** (Distributed Inflow Model).

Definering av regiongrid med tilhørende delfelt og cellekarakteristika, samt referanse til målestasjoner og prognosepunkt, gjøres som en initiell prosess i ArcGis. Resultatet av denne prosessen konverteres gjennom Powel GIS. Powel GIS er en nyutviklet dll som tar seg av kommunikasjon med ArcGIS server. Disse ArcGIS-dataene blir brukt til å opprette en fysisk modellstruktur av en gitt region i Powel Mesh basert på predefinerte objekttyper.

Brukeren kan sette opp kjøringene av ulike kombinasjoner av tilgjengelige modellstakker og inndata for en region i Powel kalkulator. En modellstakk er en kombinasjon av ferdig kompilerte hydrologiske rutiner. Tilgjengelige rutiner pr nå er: Kirchners responsrutine, GamSnow og HBVSnow snørutiner, samt Priestley-Taylor fordampningsrutine. Inndata representeres av tidsserier for nødvendige målte og prognoserte værd data som de ulike rutinene trenger.

Aktivering av disse modellkjøringene gjøres i Powel Nimbus som representerer brukergrensesnittet til Powel Mesh. Resultatene genereres på delfeltnivå som summerte celledata, samt pr celle for utvalgte parametere.

Powel DIM er tilgjengelig som beta-versjon for testing. Kundetestingen av prototypen gjøres i Powels miljø med en remote logon, men med kundens modellområde. Tidsseriedata til bruk i modellen må importeres fra kundenes database, det samme må nødvendige feltdata fra GIS.

Powel DIM er dokumentert i en egen rapport (Powel DIM System Guide – versjon 11.0).

3.2 SINTEFs arbeid: Enki

Som spesifisert i prosjektplanen hadde SINTEF det vesentlige av arbeidet i prosjektets to første år, og gjennomførte kursrunder med opplæring av prosjektdeltagere både i Trondheim og i Oslo. Samtidig ble det gjort forbedringer og revisjoner av Enki, både forhåndsplanlagte, og som resultat av tilbakemeldingene fra disse kursene. Blant disse var en generalisering av Enkis GIS-kobling fra å være knyttet til ett bestemt GIS-verktøy (IDRISI), til å bruke et eksternt bibliotek GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) både for inn- og utlesning og for reprojisering av datasett med ulike kartprojeksjoner. GDAL har også åpen kildekode-lisens, og nærmer seg i praksis å være en standard innenfor både åpen-kildekode og proprietær GIS-programvare.

En annen utvidelse har vært å forsyne Enki med et minimum av visualisering. Dette er løst ved å lage kart-plotterrutiner for både raster (gridfordelte variable) og punktnettverk (typisk stasjonskart o.l.). Både faste grunnlagskart og dynamiske fordelte variable kan vises, men det er ingen animasjonsfunksjonalitet eller annen visualisering av tidsutvikling for rasterkart. For målestasjoner er det laget funksjonalitet for tidsserieplotting og sammenligning av målte og simulerte tilsigs-serier; også disse knyttet til kart slik at en kan veksle mellom ulike felts hydrogrammer ved å klikke i kartet.

De grafiske rutinene ble skrevet i Python, med noe grensesnitt-kode i C++ for å gjøre plottefunksjonene kallbare fra Enki-programmet. Denne løsningen ble valgt fordi Python er rikt på visualiseringsrutiner, og fordi en ser for seg en gradvis overgang fra det grafiske brukergrensesnittet Enki har, til et Python-basert grensesnitt med større vekt på skripting av Enki-funksjonalitet.

I tillegg til disse er det gjort en del forbedringer, feilrettinger og annet vedlikehold i koden, blant annet for å forenkle prosessen med å sette Enki opp for en ny region. Disse forbedringene har i stor grad vært basert på tilbakemeldinger fra brukerne underveis. Videre er det skrevet brukerveiledninger for Enki på norsk og engelsk, samt brukerrettet dokumentasjon for mer enn 20 hydrologiske rutiner. Enki er også forsynt med et installasjonsprogram som unngår problemer med biblioteks-avhengigheter, og som sikrer at plotterrutinene fungerer også uten en full installasjon av Python.

3.3 Sammenhenger og ulikheter mellom DIM/SHyFT og Enki

Gjennom DIM-leveransen fra Powel og Enki-leveransen fra SINTEF er prosjektets to hovedmål begge tilfredsstilt. Det er liten tvil om at den kjernen som Statkraft implementerte (SHyFT) er vesentlig bedre tilpasset operasjonelle formål enn Enki, og dermed et enklere utgangspunkt for Powels operasjonalisering. Prosjektet har også levert et selvstendig, interaktivt programvareverktøy i henhold til opprinnelig plan.

Integrasjonen mellom de to verktøyene er imidlertid ikke så tett som prosjektet la opp til. Fra start så en for seg at de hydrologiske rutinene skulle ligge i ett eller flere dynamiske bibliotek (som kalles programvaretillegg (dll) i Windows), og være tilgjengelige i samme form både fra Enki og fra et operasjonelt verktøy. Dette betinget at det operasjonelle verktøyet hadde samme mulighet for å tilpasse seg nye rutiner som Enki; i praksis at rutine-grensesnittet var generelt nok til å omfatte alle rutiner.

Dette var ikke forenlig med Statkrafts krav om sikkerhet mot uautoriserte eller for dårlig testede hydrologirutiner, og ønske om hurtighet i simuleringene. Det første kravet førte til at SHyFT/DIM ikke kan lenke inn eksternt kompilerte rutinebiblioteker, som var den planlagte mekanismen bak den tette koblingen mellom det operative og det interaktive verktøyet. Det andre kravet førte til at selve modellen ikke kunne beholdes som en konfigurert sekvens av selvstendige rutiner, men må programmeres og kompiles i hvert tilfelle som et spesifikt kodeobjekt (som i SHyFT/DIM kalles *stakk*). Det samme gjelder omgivelses-funksjonalitet som tilstands- og parameterobjekter etc.

Dette er i seg selv ikke noen alvorlig hemsko for operasjonalisering av "ferdigforskede" FoU-resultater. Tilpasning av kode og rekompilering behøver ikke være noen omfattende oppgave, selv om denne omfatter et større antall deler av koden enn hva tilfellet var med Enki. Dette betyr samtidig at grensesnittet mot hver enkelt rutine er mindre strengt spesifisert enn i Enki, noe som muliggjør både spesialisering i selve grenseflaten, og aksept av rutiner med litt forskjellig behov for rammeverkstjenester.

Operasjonaliseringsterskelen for fremtidige FoU-resultater vil også med de nye verktøyene være lavere enn før, selv om det ikke skjer uten modifisering av kode. For å holde terskelen på et minimum vil det være viktig å presentere kandidater for slik operasjonalisering med godt dokumenterte ligningssett, samt å følge opp selve rutineimplementasjonen med spesifikke enhetstester for de ulike delene av funksjonaliteten.

4 Beskrivelse av arbeidet

Prosjektet la i den tidlige fasen stor vekt på brukerinvolvering, og arrangerte seminarer rettet inn mot å sette opp og teste ut Enki for industripartnernes egne reguleringsområder. Deretter fulgte en fase med evaluering, tilbakemeldinger og forbedringer, som omfattet både kvaliteten av simuleringene og brukeropplevelsen av selve verktøyet. Diskusjoner rundt ulike aspekter ved Enki omfattet blant annet kobling mot GIS-programvare, organisatoriske utfordringer rundt vedlikehold av åpen kildekode, og graden av fleksibilitet i den operative prototypen. I prosjektets andre år ble det også brukt en del ressurser på å holde Enki synkronisert med den utviklingen som Statkraft satte i gang og etter hvert brukte betydelige ressurser på. Dette måtte til slutt oppgis.

5 Prosjektgjennomføring og ressursbruk

Prosjektet fulgte de to første årene opprinnelig plan. Det siste året i prosjektperioden har Powel stått for det vesentlige arbeidet, slik det var planlagt. Den store innsatsen fra Statkraft var ikke kjent da prosjektet startet, men informasjonen kom på bordet i tide til at prosjektet kunne revurdere planene og velge en alternativ strategi siste år. De to første årenes evalueringer og tilbakemeldinger fra brukerne har for de hydrologiske egenskapenes del uendret relevans, fordi selve prosessligningene i modellen i liten grad ble endret mellom de to programvareplattformene. Derimot har evaluering og tilbakemelding mht. brukergrensesnitt og teknisk løsning naturligvis i mindre grad vært styrende for slutt-implementasjonen, fordi den nye versjonen har en helt annen tilnærming til disse aspektene ved programvaren.

Oppsummert har prosjektet nådd sine mål med fornuftig ressursbruk ut fra den informasjon som har ligget på bordet til enhver tid, men den samme oppgaven kunne trolig vært gjennomført med mindre ressursbruk dersom aktiviteten hadde startet to år seinere.

6 Nytteverdi

Fordelte, prosessbaserte modeller er et viktig element i og et første skritt på veien til å utnytte en stadig større mengde tilgjengelig informasjon om tilstander og drivere for hydrologisk simulering. Utviklingen omfatter nye instrumenter og måleteknikker, bedre værprognoser med langt større detaljeringsgrad, og økt tilgjengelighet av fjernmålingsdata. Det nye verktøyet har i tillegg til bedre prosessbeskrivelser langt større åpenhet for slik informasjon enn tidligere modellverktøy. Foreløpig er det i Powel DIM lagt til rette for import av griddete prognosedata fra thredds.met.no; dette kan utvides ved behov. Parallelt er også andre deler av Powels programvare blitt sterkt forbedret for å håndtere større informasjonsmengder. For Powel bidrar prosjektet derfor til styrket konkuranseevne og potensiale for økt salg av Powels prognoseverktøy.

For kompetanseutvikling i vannkraftbransjen betyr det mye at de operative verktøyene for det første bringes et langt skritt nærmere forskningsfronten innenfor hydrologisk simulering, og for de andre at de tillater og inviterer til utnyttelse av langt mer informasjon fra flere kilder enn i dag. For

undervisningsinstitusjonene representerer de nye verktøyene en styrket mulighet for å basere studentoppgaver på modellsimulering. Samtidig støttes videre forskning ved at operative miljøer hurtig og effektivt kan teste ut nyskrevne modellrutiner, og dermed bidra til kritisk evaluering av pågående utvikling. Enki har godt utviklede rutiner for import og bruk av vilkårlige data både som input og i kalibrering og evaluering; et større rutinebibliotek, samt rike diagnostikkverktøy.

7 Videre formidling og utnyttelse av resultatene

Prosjektet har vært et innovasjonsprosjekt med sterk fokus på å operasjonalisere tidligere oppnådde FoU-resultater, og har allerede bragt den sentrale innovasjonen langt på vei fram mot salgbart produkt. Videre formidling er derfor dominert av markedsføringstiltak som prosjektet i liten grad har lagt noen planer for. Noen utviklingstrekk kan likevel forventes i tiden etter prosjektet. Den utviklede prototypen er første generasjon av fordelt modellverktøy for kraftverksdrift, og erfaring i operativ drift vil naturlig medføre flere tilbakemeldinger og ønsker om utvidelser og endringer. I motsetning til tidligere modeller har den nye modellformen sterke fortrinn i visualisering og intuitiv resultatformidling i form av kartbaserte framstillinger av tilsig og modelltilstander.

Fra og med versjon 11.5 av Powels SmG (juni 2017) er DIM tilgjengeliggjort i beta-versjon. DIM-modulen har egen lisens, og forutsetter at brukeren også har Mesh-modulen. Deltagerne i prosjektet har adgang til disse modulene gjennom prosjektet.

8 Metodebeskrivelser

Som siste del av rapporten følger en beskrivelse av de mest brukte hydrologirutinene i Enki, Dette er de rutinene som har vært skrevet ved SINTEF Energi og som har vært distribuert sammen med Enki-rammeverket underveis i prosjektet. Rutinebeskrivelsene er skrevet for å lette bruken av rutinene, med vekt på å forklare bruksmåte, variabelgrensesnitt og betydningen av de ulike parametrene som brukeren må sette verdier på. Detaljert dokumentasjon av numeriske løsningsalgoritmer er ikke vektlagt, men foreligger for noen få av rutinene.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no

Notat

ENKI-rutine: BayesTkrig temperaturinterpolator

SAKSBEHANDLER / FORFATTER

Ingelin Steinsland, Sjur Kolberg

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.orgPROSJEKTNR / SAK NR
12X855DATO
2015-03-30GRADERING
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	BayesTkrig temperaturinterpolering	3
2.1	Kalibrering:	3
2.2	Variable i BayesTkrig	4
2.3	Teoretisk modellbeskrivelse.....	4
2.4	Matematisk modell og notasjon	5
2.5	Estimatorer:.....	7

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

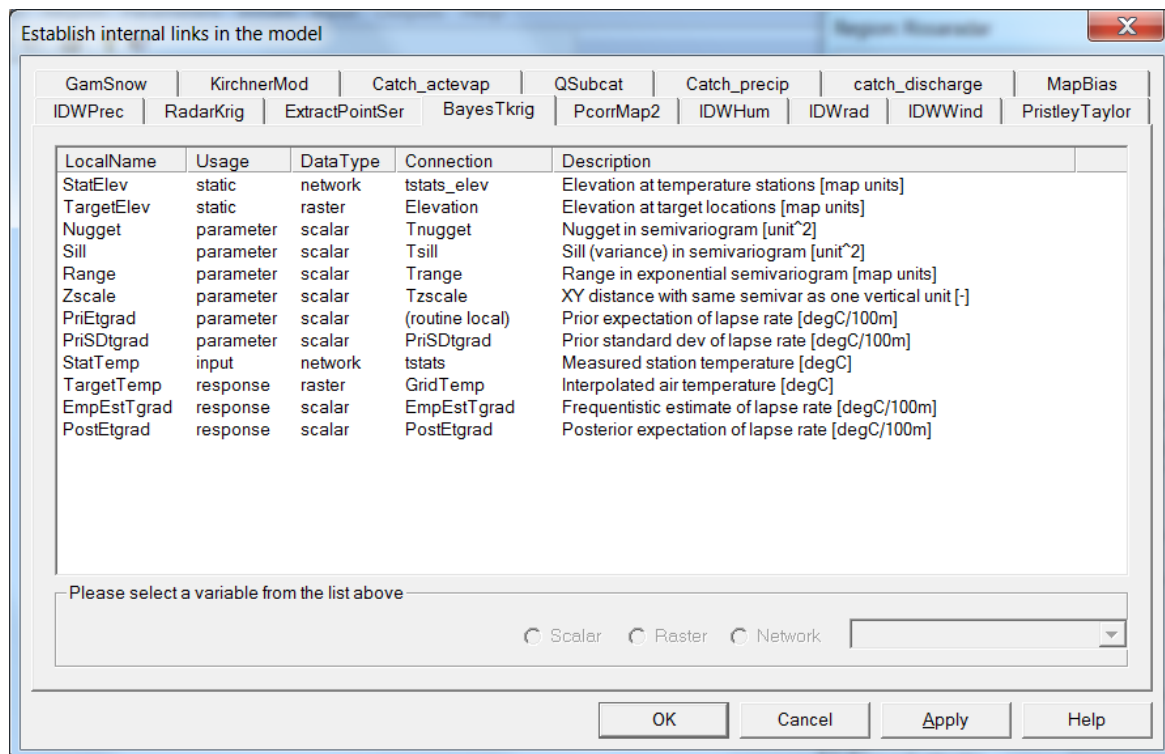
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjons høyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutinene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for BayesTkrig

2 BayesTkrig temperaturinterpolering

De fleste interpoleringsrutiner for lufttemperatur anvender en høydegradient for å redusere systematiske feil i estimert lokal lufttemperatur. I norsk HBV-tradisjon har denne gradienten vært en kalibreringskonstant, i noen tilfeller med verdi som avhenger av nedbør, og med de to adiabatisk gradientene som rettesnor for verdiområde. Imidlertid varierer temperaturgradienten både sesongmessig og med vær-situasjon. Det er derfor en fordel å kunne estimere temperaturgradient direkte fra målte data, for å fange opp temporære variasjoner (motsatt kalibrering) og gjøre seg uavhengig av modeller eller antagelser for temperaturgradient.

I en regional modell med mange temperaturstasjoner vil potensialet for robust estimering av høydegradient være langt bedre enn for enkeltfelt, der en gjerne har to eller tre stasjoner. Det er imidlertid en del situasjoner som gjør at en kan komme galt ut ved å stole for mye på målinger. Én oppstår når regionen er så liten at antall stasjoner er lavt, en annen når stasjonenes spredning i høyde er vesentlig mindre enn for regionen, og en tredje når inversjon gjør at noen få stasjoner har temperatur bestemt av helt andre prosesser enn de øvrige.

I slike situasjoner kan det være god grunn til å dempe ned de største utslagene. Bayes' teorem er velegnet til slik vektning av måledata opp mot forhåndsinformasjon. Enki-rutinen BayesTkrig estimerer først høydegradient og havnivåtemperatur for hele regionen, disse gir sammen med høydedata en modelltemperatur-flate. Deretter tilpasses en residualflate til målestasjonenes avvik fra den regionale modelltemperaturen. Summen av modelltemperatur og interpolert avvik gir lokalt temperaturestimat. I gradient-estimeringen vil rutinen automatisk legge større vekt på observasjonene dersom disse er mange, og/eller dersom de spenner ut et betydelig høydeintervall. Den situasjonen som må behandles spesielt er inversjon.

2.1 Kalibrering:

Grensesnittet i rutinen er definert ved variablene i tabell 1, der StatTemp er primær input og TargetTemp primær output. I tillegg til det interpolerte temperatur-kartet er både frekventistisk (EmpEstTgrad) og bayesiansk (PostEtgrad) estimat av global høydegradient tatt ut som diagnosevariable. Det er to statiske variable og seks parametre i rutinen. De to statiske kartene beskriver høyde på hhv temperaturstasjoner og mål-lokalitetene, det siste vanligvis som et raster-høydekart i ønsket romlig oppløsning. Apriori informasjon om høydegradient er beskrevet ved forventning (PriEtgrad) og standard avvik (PriSDtgrad) i en Normalfordeling. Nugget, Sill og Range definerer semivariogrammet i Kriging-estimeringen, som anvender eksponensiell modell. Zscale er en overdrivelsesfaktor for høyde, og en verdi på 20 betyr at transformert avstand til et gitt punkt er like stor 10 km unna som 500 meter høyere.

Det er mulig å utelate PriEtgrad fra oppkobling, BayesTkrig vil da benytte en intern gradientmodell med innebygget sesongvariasjon. PriSDtgrad bør ikke kalibreres, men uttrykke

en vurdert usikkerhet rundt apriori temperaturgradient. Det vil være noe avhengighet mellom de tre semivariogram-parameterne Sill, Range og Nugget.

2.2 Variable i BayesTkrig

Statistiske variable				
Lokalt navn (hardkodet)	Variabel-type	Data-type	Beskrivelse	Foreslått verdi og intervall
StatElev	Static	Nettverk	Høyde ved temperaturstasjonene. Må ha samme geometri som StatTemp. [m]	Kalibreres ikke
TargetElev	Static	Valgbar	Terrenghøyde ved mål-lokalitetene, vanligvis en griddet terrengmodell [m].	Kalibreres ikke
Nugget	Parameter	Skalar	Varians ved avstand=0; måleusikkerhet [$^{\circ}\text{C}^2$]	0.5 [0.0, 2.0]
Sill	Parameter	Skalar	Grensevarians ved økende avstand [$^{\circ}\text{C}^2$]	5 [nugget, 10]
Range	Parameter	Skalar	Avstand der varians=Sill og en stasjon ikke lenger bidrar med informasjon. [kartenhet]	80 km [20, 250] [enhet er ofte m]
Zscale	Parameter	Skalar	Skalering av høyde mot horisontalavstand [-]	20 [10, 100]
PriEtgrad	Parameter	Skalar	Apriori (forhånds-) forventet tempgradient [$^{\circ}\text{C}/100\text{m}$].	-0.6 [-1.0, -0.4]
PriSDtgrad	Parameter	Skalar	Standard avvik for apriori tempgradient [$^{\circ}\text{C}$].	0.15 [0.1, 0.4]

Dynamiske variable			
Lokalt navn (hardkodet)	Variabel-type	Datatype	Beskrivelse
StatTemp	Input	Nettverk	Målt stasjonstemperatur [$^{\circ}\text{C}$]
TargetTemp	Response	Valgbar	Interpolert lokal temperatur ved mål-lokalitetene. Må ha samme geometri som TargetElev. [$^{\circ}\text{C}$]
EmpEstTgrad	Response	Skalar	Gradient estimert fra observasjoner direkte, uten apriori-informasjon. Brukes ikke internt. [$^{\circ}\text{C}/100\text{m}$]
PostEtgrad	Response	Skalar	Aposteriori forventet temperaturgradient, påvirket av observasjoner, PriEtgrad og PriSDtgrad. [$^{\circ}\text{C}/100\text{m}$].

2.3 Teoretisk modellbeskrivelse

De to parameterne i den regionale høydegradienten estimeres altså ved Bayes' teorem. For havnivåtemperatur brukes en ikke-informativ apriorifordeling ($\sigma^2 \rightarrow \infty$), mens det for gradient brukes en informativ Normal apriorifordeling med forventning PriEtgrad og standardavvik PriSDtgrad. Ved å betinge på observasjonene (StatTemp) estimerer rutinen aposteriori havnivåtemperatur og høydegradient for hvert tidsskritt. Både havnivå-temperatur og høydegradient er også etter betinging konstante over regionen, og gir dermed en modelltemperatur som er en ren lineær transformasjon av høyde.

For hver stasjon finnes så observasjonens avvik fra denne modelltemperaturen, og disse interpoleres ved tredimensjonal kriging. Kriging er en geostatistisk metode for å estimere vektorer, basert på at kovarians mellom to steder er en funksjon av avstand. En løser et lineært ligningssett basert på 1) avstandene mellom alle målestasjonene, og 2) avstandene fra hver mål-

lokalitet til alle måle- stasjonene. Å ta med avhengighet mellom målestasjonene gjør til at stasjoner i klynge, eller som ligger i samme retning fra en mål-lokalitet, vektet ned for denne lokaliteten.

Standard kriging skjer i to dimensjoner. For å begrense det romlige omfanget av en inversjons-situasjon, har BayesTkrig høyde inkludert som en tredje avstandsdimensjon. En kalibrerbar faktor $Zscale$ ekspanderer høyden i forhold til de horisontale komponentene, og transformerer dermed den avstanden som er grunnlaget for kovariansberegning. Som resultat avtar romlig kovarians raskere med høydeforskjell enn med horisontal avstand.

Når en så interpolerer vil lokaliteter som ligger nær (i transformert 3D) målepunkter trekkes mot målte verdier, mens lokaliteter langt fra målepunkter vil ligge nærmere den modelltemperaturen som beskrives av aposteriori høydegradient og havnivåtemperatur.

Spesielt for inversjon vil en kald dalbunn-stasjon ha stort negativt avvik fra modelltemperaturen ved sin lokalitet. Dette målte signalet fra stasjonen forplanter seg langt i dalens lengderetning, men i mindre grad oppover dalsidene, som på grunn av $Zscale$ har overdrevent stor avstand til målepunktet. Resultatet er at hele dalbunnen fremstår som kald, mens det er mildere et stykke oppe i dalsiden. Dette er altså et resultat av transformerte avstander, ikke av at en liten delregion har positiv høydegradient. BayesTkrig har ingen oppfatning av den romlige utbredelsen av inversjon som fenomen, selv om det visuelt kan fremstå slik i det resulterende temperaturkartet.

Aposteriori temperaturgradient er altså stasjonær over regionen. For en stor region med mange målestasjoner kunne en ønske bedre lokal tilpasning, spesielt kunne en for norske forhold se for seg separat tilpasning av høydegradient på hver side av hovedvannskillet. En slik fleksibilitet vil imidlertid gi færre stasjoner bak hver lokale gradient, og dermed mindre vekt på observasjonene i møte med apriori-gradienten. Mer detaljert romlig tilpasning ville med andre ord gi svakere tilpasning til temporære variasjoner. Hva som er å foretrekke vil trolig avhenge av situasjonen.

2.4 Matematisk modell og notasjon

En tar utgangspunkt i en modell der forventet lokal temperatur er en lineær funksjon av lokal terrenghøyde, med lokal referansehøydetemperatur (i havnivå) som konstantledd. En ser bort fra usikkerhet i terrenghøyde både for stasjoner og gridruter.

$$T \sim N([1]\beta_0 + [h]\beta_1, K^*)$$

Denne vektorligningen er i dimensjon m ; antall gridruter det interpoleres til. K^* er kovariansmatrisen mellom gridrutene, den estimeres ikke i denne rutinen.

De to koeffisientene β_0 og β_1 (havnivåtemp og høydegradient) må estimeres. A priori er disse bivariat Normalfordelt med forventningsvektor $\bar{\beta}_0$ og kovariansmatrise Σ_β .

$$\begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{bmatrix} \sim N\left(\begin{bmatrix} 0 \\ \delta_h \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \sigma_{T_0}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_h^2 \end{bmatrix}\right) ; \quad \begin{bmatrix} 0 \\ \delta_h \end{bmatrix} = \bar{\beta}_0 ; \quad \begin{bmatrix} \sigma_{T_0}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_h^2 \end{bmatrix} = \Sigma_\beta$$

Kovarians-leddene mellom β_0 og β_1 er 0, dvs at havnivåtemp og høydegradient er a priori uavhengige størrelser. Vi gir lokal havnivå-temperatur β_0 en ikke-informativ apriorifordeling ved å la apriori varians gå mot uendelig ($\sigma_{T_0}^2 \rightarrow \infty$), mens apriori forventning får (betydningsløst) verdien 0. Høydegradienten β_1 gir en informativ apriori normalfordeling med forventning δ_h og varians σ_h^2 .

Vi etablerer nå en $n*2$ -matrise F av en kolonne med verdien 1, og en kolonne med høydene i de n målepunktene. På samme måte etableres en $2*m$ -matrise f av en rad med verdien 1 og en rad med høydene i de m gridrutene:

$$F = \begin{bmatrix} 1 & h_1 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & h_n \end{bmatrix} ; \quad f = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 \\ h_1 & \dots & h_m \end{bmatrix}$$

Dette er altså matrisen av forklaringsvariable i modellen for hhv stasjonspunkt (F) og gridruter (f). Vektorene av h er det gradienten multipliseres med, og vektorene av 1 er det konstantleddet multipliseres med. Vi etablerer også kovariansmatrisen k mellom de n målepunktene p og de m gridrutene g , og kovariansmatrisen K mellom de n målepunktene p :

$$k = \begin{bmatrix} Cov[p_1, g_1] & \dots & Cov[p_1, g_m] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Cov[p_n, g_1] & \dots & Cov[p_n, g_m] \end{bmatrix} \quad K = \begin{bmatrix} Cov[p_1, p_1] & \dots & Cov[p_1, p_n] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Cov[p_n, p_1] & \dots & Cov[p_n, p_n] \end{bmatrix}$$

Kovariansleddene i disse matrisene er gitt av avstand, basert på et anisotrop semivariogram i tre dimensjoner der autokorrelasjonen i høyde er langt svakere enn i horisontal retning. Den siste matrisen er symmetrisk, og alle diagonale ledd $Cov[p_i, p_i]$ er lik variansen.

Vi definerer nå to nye matriser H og G , med dimensjon $2*2$:

$$H = (F^T K^{-1} F)^{-1}$$

$$G = \left(H^{-1} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_h^2 \end{bmatrix} \right)^{-1}$$

2.5 Estimatorer:

Den bayesianske fremgangsmåten har de klassiske (frekventistiske) estimatene som mellomliggende steg i utregningen, både for gradient / havnivåtemperatur, og for det interpolerte feltet. Vi ser at estimatoren for $\hat{\beta}$ involverer kovariansmatrisen mellom stasjonene; den romlige avhengigheten mellom disse tas med andre ord hensyn til slik at et antall stasjoner i klynge ikke får samme vekt som om de lå godt spredt. Den bayesianske estimatoren (aposteriori forventning) er ikke noe annet enn et vektet gjennomsnitt av $\hat{\beta}$ og apriori-forventningen $\bar{\beta}_0$.

Frekventistiske estimatorer :

$$\begin{aligned} \hat{\beta} &= HF^T K^{-1} T_{obs} & [2 * 1] & \text{ koeffisienter} \\ \hat{T} &= f^T \hat{\beta} + k^T K^{-1} (T_{obs} - F\hat{\beta}) & [m * 1] & \text{ frekventistisk interpolert felt} \end{aligned}$$

Bayesianske estimatorer:

$$\begin{aligned} E[\beta | obs] &= GH^{-1} \hat{\beta} + (I - GH^{-1}) \bar{\beta}_0 & \text{ koeffisienter når } \sigma_{T_0}^2 \rightarrow \infty \\ E[T | obs] &= \hat{T} - (f - F^T K^{-1} k)^T (I - GH^{-1}) (\hat{\beta} - \bar{\beta}_0) & \text{ Bayesiansk interpolert felt} \end{aligned}$$

Det frekventistisk interpolerte feltet tar utgangspunkt i $f^T \hat{\beta}$, som tilsvarer den globale modellens lineære høydeavhengighet. $F\hat{\beta}$ er det samme for stasjonene, og differansene $(T_{obs} - F\hat{\beta})$ interpoleres ved simpel kriging før de legges til modell-temperaturen. Det bayesianske feltet modifierer det frekventistiske, med utgangspunkt i forskjellen mellom frekventistisk og apriori estimat.

I det frekventistiske feltet vil interpolasjonsvektene avhenge av høyde-ulikhet i tillegg til avstand, slik at stasjoner i samme høyde som mål-ruten får vekten oppjustert. På samme måte vil stasjoner nært i horisontal avstand men med stor høydeforskjell, ikke dempes så mye av samvariasjon som med vanlig kriging. Den siste effekten gjør også at stasjoner med stor høydeforskjell får vekten oppjustert under estimering av gradienten.

Notat

ENKI-rutine: CatchmentAverage

SAKSBEHANDLER / FORFATTER

Kolbjørn Engeland, Sjur Kolberg

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
12x855**DATO**
2016-02-24**GRADERING**
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Romlig gjennomsnitt i delområder: CatchmentAverage	3
2.1	Variabel-grensesnitt:	3
2.2	Kalibrering:	3
2.3	Bruk:	3

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

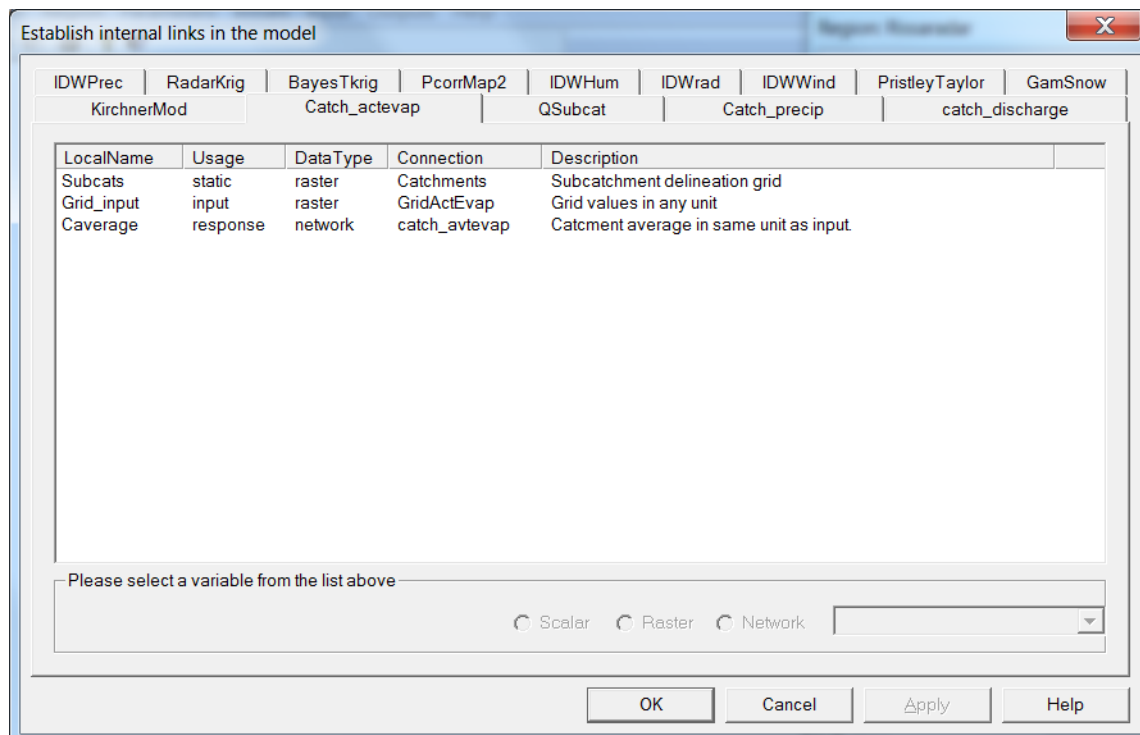
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjonshøyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutinene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur

1: Eksempel på oppsett av rutine CatchmentAverage, her for aktuell fordampning

2 Romlig gjennomsnitt i delområder: CatchmentAverage

CatchmentAverage er ikke en klassisk Enki-simuleringsrutine, men aggregerer gridcelle-verdier til romlige gjennomsnitt i delområder, vanligvis nedbørsfelt. Rutinen brukes og fungerer som QSubcat, men mangler reskalering (har samme enhet for input og output).

Nødvendig informasjon for rutinen er et rasterkart som definerer delområdene. Dynamisk input er raster-tidsserier for den aktuelle variabelen, og output er et nettverk som må representere alle ID-verdiene fra delområde-rasteret.

2.1 Variabel-grensesnitt:

Statistiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibreringsintervall
Catchments	Static	Raster	Delfelt-tilhørighet (ID) for hver gridrute. ID må stemme med Coverage-ID.	Kalibreres ikke

Dynamiske variable			
Local name	Usage	Data type	Description
Grid_input	Input	Raster	Vilkårlig input-variabel [vilkårlig enhet]
Coverage	Response	Nettverk	Romlige gjennomsnitt [samme enhet]

2.2 Kalibrering:

Rutinen inneholder ingen parametre som kan kalibreres.

2.3 Bruk:

CatchmentAverage er bare tilpasset aggregering fra raster til nettverk, der det siste representerer områder med samme ID i rasterkartet. Rutinen gjør ingen bruk av lokaliteten til gridcellene eller punktene i nettverket, det er bare ID-verdiene som er nøkkelen til rett aggregering av input. CatchmentAverage benyttes ofte for å generere diagnostikk, for eksempel slik at Enki eksporterer vannbalanse-komponenter representert for delfelt. Den kan også anvendes for å konvertere raster-input til delfelt- eller høydesoneverdier.

Notat

ENKI-rutine: ConstValue

SAKSBEHANDLER / FORFATTER
Lena S. Tøfte, Sjur Kolberg

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
12x855

DATO
2016-02-24

GRADERING
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Dummy-tidsserie: ConstValue	3
2.1	Variabel-grensesnitt:	3
2.2	Kalibrering:	3
2.3	Bruk:	3

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

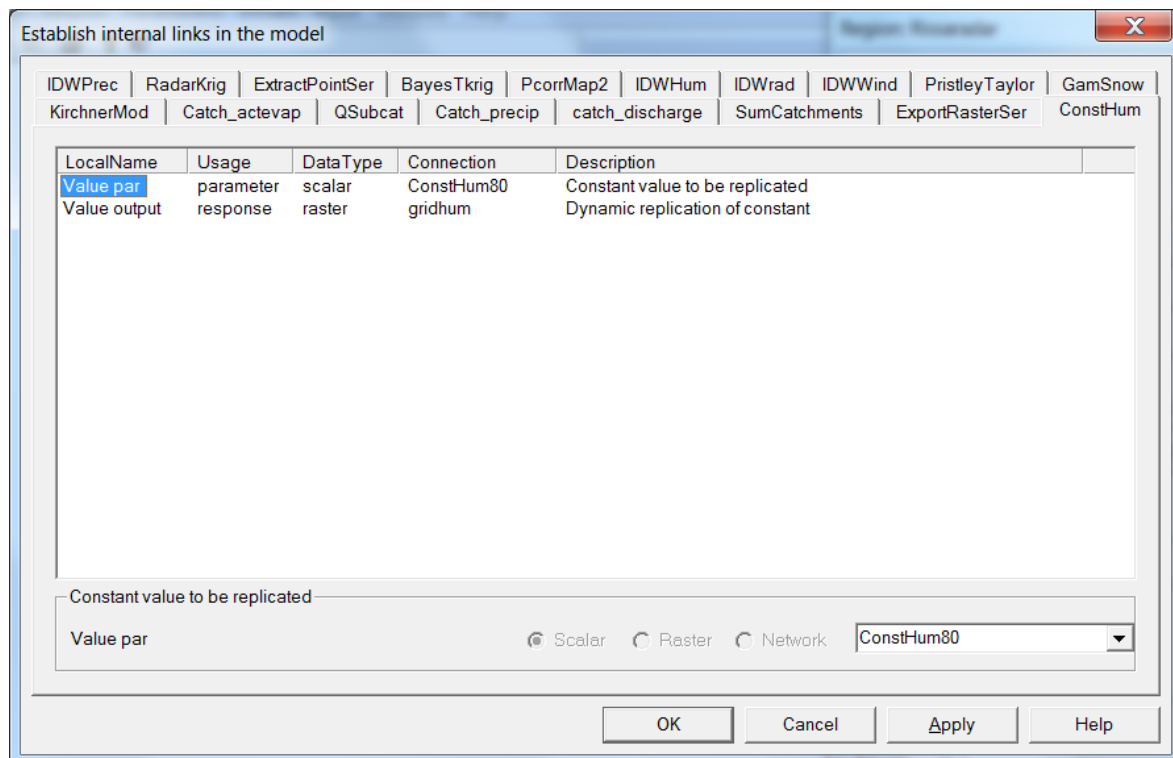
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjonshøyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutinene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på oppsett av rutine ConstValue, her for relativ luftfuktighet

2 Dummy-tidsserie: ConstValue

ConstValue er ikke en simuleringsrutine, men genererer en konstant verdi for hvert tidsskritt og i ønsket geometri. Den er et alternativ til å lage kunstige inngangs-tidsserier for variable en ikke har målinger av. Enki-rammeverket gir feilmelding dersom en forsøker å koble statiske og dynamiske variable sammen, derfor er det ikke mulig å sette en fast verdi på for eksempel en input-variabel. ConstValue omgår denne hindringen.

2.1 Variabel-grensesnitt:

Statiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibreringsintervall
Value par	Parameter	Skalar	Valgt verdi	Ingen anbefaling

Dynamiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	
Value output	Response	Valgbar	Repetisjon av parameterverdien som tidsserie i ønsket geometri	

2.2 Kalibrering:

Parameteren kan kalibreres. Foreslått verdi eller kalibreringsintervall må avgjøres i hvert tilfelle, og det må overlates til operatør å vurdere virkning og identifiserbarhet av parameteren.

2.3 Bruk:

ConstValue er et teknisk grep for å omgå Enkis generelle sperre mot å sette parametre inn som dynamiske variable. Den brukes for å gi data-intensive rutiner som eksempelvis GamSnow kunstige verdier for luftfuktighet og/eller vind, som GamSnow er relativt lite følsom for, men likevel krever.

Notat

ENKI-rutine: EFMBasic

SAKSBEHANDLER / FORFATTER

Kolbjørn Engeland, Sjur Kolberg

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR

Skriv Prosjektnr / sak nr

DATO

2013-05-23

GRADERING

Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Fordampning etter Penman-Monteith-ligningen: EFMBasic.....	3
2.1	Variabelgrensesnitt	3
2.2	Kalibrering:.....	4
2.3	Bruk:.....	4
2.4	Ligningsgrunnlag og implementeringsdetaljer:.....	4
2.4.1	Fordampning fra snøfrie overflater	4
2.4.2	Fordampning fra snøoverflater.....	5
2.4.3	Penman-Monteith-ligningen.....	5
2.4.4	Netto stråling	7
2.4.5	Aerodynamisk resistans	7
2.4.6	Overflateresistans.....	8
2.4.7	Markfuktighet og overflateresistans.....	9

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

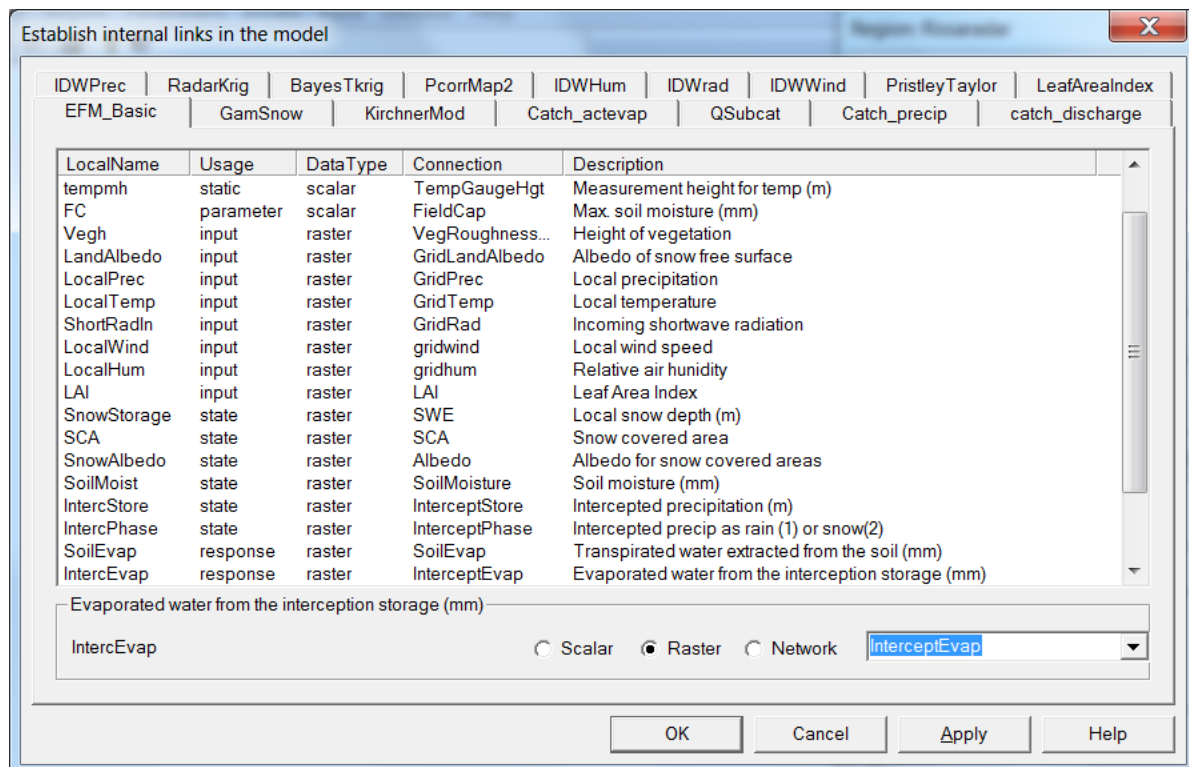
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjons høyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutinene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for EFM-Basic.

2 Fordampning etter Penman-Monteith-ligningen: EFMBasic

EFM-Basic er en fordampningsmodell basert på Morecs-modellen utviklet av britisk Met Office (Thomson et al, 1981, Hough og Jones, 1997). Morecs ble utviklet for å beregne ukentlige og månedlige kart over fordampning og markvannsunderskudd i et 40 x 40 km rutenett basert på standard kartdata, med anvendelse innen jordbruk og hydrologi.

Tallaksen (1996) utviklet en norsk versjon av Morecs under navnet AMOR, for å ta hensyn til intersepsjonstap. Forskjellen mellom disse ligger i inngangsdataene og ikke i fordampningsligningen. AMOR er tilpasset standard meteorologiske data fra norsk Meteorologisk Institutt.

Nødvendige opplysninger for å sette opp modellen er AMOR-klassifisert vegetasjonskart, samt målehøyde for vindhastighet og temperatur (vanligvis hhv 10 og 2 m).

2.1 Variabelgrensesnitt

Statistiske variable				
Variabel	Variabeltype	Data type	Beskrivelse	Foreslått verdi og kalibreringsintervall
VegClass	Static	Valgbar	AMOR vegetasjonsklasser [-]	Kalibreres ikke.
Windmh	Static	Skalar	Målehøyde for vind [m]	Kalibreres ikke.
Tempmh	Static	Skalar	Målehøyde for temperatur [m]	Kalibreres ikke.
FC	Parameter	Skalar	Feltpkapasitet, maksimalt markvanninnhold	100 [50, 400]

Dynamiske variable			
Variabel	Variabeltype	Data type	Beskrivelse
Vegh	Valgbar	Input	Vegetasjonshøyde [m]
LandAlbedo	Valgbar	Input	Albedo for snøfrie områder [-]
LocalPrec	Valgbar	Input	Lokal nedbør [mm]
LocalTemp	Valgbar	Input	Lokal temperatur <i>Tempmh</i> meter over bakken [°C]
ShortRadIn	Valgbar	Input	Lokal innkommende kortbølget stråling [W/m ²]
LocalWind	Valgbar	Input	Lokal vindhastighet <i>Windmh</i> m over bakken [m/s]
LocalHum	Valgbar	Input	Lokal relativ luftfuktighet [%]
LAI	Valgbar	Input	Bladareal-indeks [-]
SnowStorage	Valgbar	State	Lokal snødybde [m]
SCA	Valgbar	State	Andel snødekket areal [-]
SnowAlbedo	Valgbar	State	Albedo for snøoverflaten [-]
SoilMoist	Valgbar	State	Markvanninnhold [mm]
IntercStore	Valgbar	State	Intersepsjonsmagasin [mm]
IntercPhase	Valgbar	State	Flagg for vann [1] eller snø [2] i intersepsjonsmagasin
SoilEvap	Valgbar	Response	Transpirert vann fra umettet sone [mm]
IntercEvap	Valgbar	Response	Fordampning fra intersepsjonsmagasin [mm]
Evap	Valgbar	Response	Total evapotranspirasjon [mm]
SnowEvap	Valgbar	Response	Fordampning fra snømagasinet [mm]
Throughfall	Valgbar	Response	Nedbør under vegetasjonsdekket [mm]
Snowfall	Valgbar	Response	Snø som faller fra intersepsjonsmagasinet [mm]

2.2 Kalibrering:

MORECS-modellen inneholder ikke parametre som skal kalibreres. Ut over MORECS bruker AMOR/EFM-Basic en forenklet variant av HBVSoil, som inneholder én fri parameter (FC).

2.3 Bruk:

EFM-Basic inneholder en beskrivelse av vinterprosesser, med spesiell behandling av snø-intersepsjon, sublimering av snø i trekronene og simulering av hvordan snøen påvirker terrenget, f.eks ruhet og albedo. Modellen estimerer fordampning fra snøfrie og snødekte områder separat, for å ta hensyn til ulikheter i strålingskomponenter og resistansledd.

EFM-Basic kan operere både på døgn- og timesintervall. For døgnsimulering utføres beregninger for dag og natt separat. For timesimulering anvendes standardligninger for solhøyde for å avgjøre hvorvidt det er dag eller natt. EFM-Basic er testet og verifisert på timesverdier, ikke testet for døgnverdier.

EFM-Basic trenger LAI som inngangstidsserie, det finnes en egne rutine LeafAreaIndex som simulerer LAI. For hvert tidsskritt er I_{max} holdes igjen i bladverket, resten faller til bakken og går til umettet sone.

2.4 Ligningsgrunnlag og implementeringsdetaljer:

2.4.1 Fordampning fra snøfrie overflater

Deler av nedbøren fanges opp av vegetasjon før den når bakken, en prosess kjent som intersepsjon. Andelen p som fanges opp kontrolleres av vegetasjonstettheten. Bladarealindeks (Leaf Area Index, LAI) brukes som indeks for vegetasjonstetthet, og p beregnes som:

$$p = 1 - 0.5^{LAI} \quad (1)$$

Den maksimale mengden vann som kan fanges er gitt av intersepsjonskapasiteten I_{max} :

$$I_{max} = 0.2 * LAI \quad (2)$$

Når modellen opereres på døgntidsskritt brukes en *effektiv intersepsjonskapasitet* siden vegetasjonen kan fylle dette magasinet flere ganger i en situasjon med byger:

$$I_{max} = 0.2 * LAI * I_{corr} \quad (3)$$

hvor faktoren I_{corr} er gitt i tabell 1:

Tabell 1: I_{corr} -faktor for hver måned.

Måned	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Faktor	1.0	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0	2.0	2.0	1.8	1.4	1.2	2.0

EFM-Basic beregner summen av fordampning fra våte overflater og transpirasjon fra vegetasjon. For områder uten vegetasjon beregnes fordampning fra jord. For våt vegetasjon er transpirasjon satt til null, og hovedprosessen er fordampning fra intersepsjonsmagasinet. Når vegetasjonen er tørr, starter transpirasjon.

For begge prosessene bruker EFM-Basic en modifisert form av Penman-Monteith ligningen (Shuttleworth, 1993 Hough og Jones, 1997). Ligningen beskriver både masse- og energibalanse. Energien kontrolleres av stråling, mens massetransporten styres av vind og fuktighet. Transpirasjon fra vegetasjon påvirkes også av tidspunkt på døgnet og tilgjengelig markfuktighet.

2.4.2 Fordampning fra snøoverflater

For å beregne fordampning fra snødekte overflater, simuleres følgende prosesser

- Svært lite vann er tilgjengelig for transpirasjon når bakken er frossen, og transpirasjonen er neglisjerbar når lufttemperaturen er under null grader. I EFM-Basic settes derfor transpirasjon til 0 når bakken er snødekt eller lufttemperaturen er under null.
- Intersepsjonskapasiteten for snø er større enn for vann, men vinden kan blåse av snøen av trekroner og bladverk. I EFM-Basic er intersepsjonskapasiteten for snø satt 3,5 ganger større enn for regn. Når vinden er sterkere enn en viss grense faller all snøen fra intersepsjonsmagasinet til bakken; hvis temperaturen stiger til over 0°C, faller alt unntatt den intersepsjonskapasiteten som er satt for vann.
- Vanddamp kan sublimere fra kald snø eller fordampe fra våt snø. I EFM-Basic er bare sublimering fra snø og kondensering på snø inkludert.
- Den atmosfæriske resistansen mot fordampning øker på grunn av glattere overflate og mindre turbulens. Dette er inkludert i EFM-Basic ved å redusere overflateruhet med faktoren 0.1. for ikke-skogkledde områder.
- Energien tilgjengelig for fordampning brukes også for snøsmelting. (Hayashi m.fl., 2005).
- Modellen utfører separate beregninger for snøfrie og snødekte områder innenfor hvert modellelement for å ta hensyn til ikkelinearitet i strålingsledd og overflateegenskaper.

2.4.3 Penman-Monteith-ligningen

Aktuell fordampning beregnes ved hjelp av en modifisert form av Penman-Monteith-ligningen (Hough og Jones, 1997). Modifiseringen korrigerer for bruk av alminnelig 2m-temperatur, i stedet for *wet-bulb* (*screen*)-temperatur. Detaljer om den modifiserte Penman-Monteith-ligningen er gitt i Thompson et al, (1981). Ligningen er gitt ved:

$$EP = \frac{1}{\lambda} \left[\frac{\Delta(R_N - G) + \rho_a c_p D(1 + br_a / \rho_a c_p) / r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_c / r_a)(1 + br_a / \rho_a c_p)} \right] \quad (4)$$

der EP er gitt i [Kg/(m²s)]. Dette er ekvivalent med [mm/s], og må multipliseres med 3600 for timesverdi og 86400 for døgnverdi. λ [J/kg] er latent varme for vann, og avhenger av temperatur:

$$\lambda = 12501000 - 2361 * T \quad (5)$$

For snødekte overflater brukes latent varme for sublimering

$$\lambda = 12501000 + 334000 \quad (6)$$

Δ [mb/°C] er gradienten i sammenhengen mellom metningsdamp trykket e_s [mb] og temperaturen T [°C]:

$$\Delta = \frac{e_s c_2 c_3}{(c_3 + T)^2} \quad (7)$$

der e_s [mb] er metningsdamptrykk gitt ved:

$$e_s = c_1 \exp\left(\frac{c_2 T}{c_3 + T}\right) \quad (8)$$

med koeffisientene c_1 , c_2 og c_3 gitt i tabell 2.

Tabell 2: Koeffisientene for beregning av metningsdamptrykk fra temperatur

	Snø	Ingen snø, T < 0	Ingen snø, T > 0
c_1	6.10714	6.10780	6.1078
c_2	22.44294	17.84362	17.08085
c_3	272.44	245.425	234.175

ρ_a [kg/m³] er tettheten av fuktig luft; 1.2923 kg/m³

R_{ne} [W/m²] er netto stråling. Denne kan være observert eller beregnet.

c_p [J/(kg°C)] er spesifikk varmekapasitet for fuktig luft; 1005 J/(kg°C)

r_a [s/m] er aerodynamisk motstand kontrollert av vindhastighet, vegetasjonshøyde og snødekke.

r_c [s/m] er vegetasjonmotstand mot transpirasjon, kontrollert av vegetasjonstype, sesong, tid på dagen og tilgjengelig vann.

γ [mb /°C] er psykrometrikonstanten; 0,66.

D [mb] er vanddampunderskudd i luften, beregnet fra relativ fuktighet og temperatur.

b er en faktor gitt som:

$$b = 4\varepsilon\sigma(273.1 + T)^3 \quad (9)$$

der ε er emissivitet; 0,95 og σ er Stefan Boltzmanns konstant 5,67 * 10⁻⁸ W/m² K⁴)

Fordampning av vann fra intersepsjonsmagasinet beregnes ved å sette r_c til null. For transpirasjon brukes både r_c og r_a .

2.4.4 Netto stråling

Globalstråling (innkommende kortbølget stråling R_G) er inputvariabel til EFM-Basic. Netto kortbølget stråling er gitt av:

$$R_{SN} = R_G(1 - A) \quad (10)$$

Netto langbølget stråling er gitt av

$$R_{LN} = \varepsilon \sigma T_K^4 \left(1.28 (e_a / T_K)^{1/7} - 1 \right) \left(0.2 + 0.8 \frac{n}{N} \right) \quad (11)$$

der T_k er temperaturen i Kelvin, N er dagens lengde (timer) og n er solen observert timer. For øyeblikket settes $n/N = 0,5$, men n kan også estimeres fra observert og potensiell kortbølget stråling.

2.4.5 Aerodynamisk resistans

Aerodynamisk motstand eller resistans er beregnet fra vegetasjonshøyde og vindhastighet. Det antas at vinden er målt over standardflate (kortklipt gress).

$$r_a = \frac{\ln[(z_u)/z_{om}] \cdot \ln[(z_e)/z_{ov}]}{k^2 \cdot V_z} \quad (12)$$

der z_u og z_e [m] er målehøyde for vind og vanndampunderskudd,

k er von Karman konstant; 0.41.

V_z [m/s] er vindhastighet

$z_{om} = 0,1h_c$, $z_{ov} = 0,01h_c$

h_c er gjennomsnittlig vegetasjon høyde [m].

Vindhastighet måles ved enten 2 eller 10 meters høyde. Hvis vinden er målt 2 meter, korrigeres den til vindhastighet i 10 meters høyde under antagelse om logaritmisk høydeprofil:

$$u(10) = u(2) * \ln[10 / z_0] / \ln[2 / z_0] \quad (13)$$

For høy vegetasjon vil dette ikke være en god tilnærming, og vindhastigheten tilpasses derfor med:

$$u(10 + d) = 0.6 * u(10) \quad (14)$$

For å beregne aerodynamisk resistans brukes $u(10)$ for lav vegetasjon (13), og $u(10+d)$ for høy (14).

2.4.6 Overflateresistans

Overflateresistansen r_s har to komponenter, vegetasjonens motstand mot transpirasjon, r_{sv} og jordoverflatens motstand mot fordampning r_{ss} . Den totale motstand på dagtid er gitt ved:

$$\frac{1}{r_s} = (1 - A) \frac{1}{r_{sv}} + A \frac{1}{r_{ss}} \quad (15)$$

hvor A er den andelen av overflaten som ikke dekkes av vegetasjon; gitt som:

$$A = 0.7^{LAI} \quad (16)$$

Om natta vil vegetasjonsresistansen være stor, og total overflateresistans er gitt av:

$$\frac{1}{r_s} = (1 - A) \frac{LAI}{2500} + A \frac{1}{r_{ss}} \quad (17)$$

Hvis modellen opererer på døgnintervall, anslås overflaten motstand separat for dag- og nattestid. Hvis modellen beregner timesverdier, avgjør klokkeslettet når det er hhv dag og natt.

For frie vannflater og snødekt mark er overflateresistansen satt til null siden mengden av vann er ubegrenset. Fra vegetasjonen simuleres ingen transpirasjon fra vegetasjon så lenge temperaturen er under null eller overflaten er snødekket. Sublimasjon fra snødekte overflater påvirker snømagasinet, men disse endringene er små.

Tabell 3 viser motstand for ulike vegetasjonsklasser. For løvskog er motstand 100 s/m om vinteren, 80 s/m gjennom bladsesongen og 160 s/m etter at bladene har falt. I høyereliggende områder antas en overflateresistans på 70 s/m under vekstsesongen (snøfri del av Mai-September) og 160 s/m vinteren (oktober-April). For myrer og gressletter antas en månedlig vegetasjonresistans angitt i tabell 4.

Tabell 3: Overflateresistans for noen vegetasjon klasser

Vegetasjon type	Sommer (s/m)	Vinter (s/m)
Landbruk	40	40
Løvtrær	80	160
Høyland/fjell	70	160
Bartrær	70	70
Vann	0	0
Jord	100	100
Urban	0	0

Tabell 4: Vegetasjonresistans for myrer og gressletter avgjøres av måneden

Måned	J	F	M	A	M	J	J	A	el	O	N	D
Faktor	80.	80	60	50	40	40	60	60	70	70	80	80

For barskog avhenger resistansen av lufttemperatur og luftfuktighet.:

$$r_{sv} = \begin{cases} 25r_{sc}^*/(T+5) & -5 < T < 20 \\ r_{sc}^* & T > 20 \\ 10000 & T < -5 \end{cases} \quad (18)$$

$$r_{sv} = \begin{cases} r_{sc}/(1.0-0.05D) & D < 20mb \\ 10^4 & D \geq 20mb \end{cases} \quad (19)$$

2.4.7 Markfuktighet og overflateresistans

Opprinnelig hadde Morecs en egen markfuktighetsrutine. I implementeringen er det valgt å følge Amortilnæringen, som bruker en forenkling av markvannsrutinen fra HBV.

Fuktigheten i jorda er karakterisert av parameteren FC som beskriver feltkapasitet, dvs maksimalt fuktighetsinnhold i umettet sone, og tilstandsvariabelen S som er det faktiske markvannsmagasinet. Feltkapasiteten består av to deler X og Y karakterisert ved $X_{Maks} = 0,4FC$ og $Y_{Maks} = 0,6FC$. I hvert tidsskritt fordeles trinn vannet mellom X og Y slik at $X = 0$ når S er lavere enn $0,6*FC$. Y er full så lenge det er vann i X; så tømmes det lineært:

$$\begin{aligned} S_X &= \max(0, S - Y_{\max}) \\ S_Y &= S - S_X \end{aligned} \quad (20)$$

Markresistansen som er inkludert i den totale mark/vegetasjonsresistansen øker fra 100 s/m ved 100% fuktighet i jorda ($X = X_{max}$) til 10000 s/m ved 60% fuktighet i jorda ($X=0$):

$$R_{SS} = 100 * \frac{X_{\max}}{S_X + 0.01X_{\max}} \quad (21)$$

Vegetasjonsmotstanden reduseres hvis $X=0$, og blir en funksjon av Y:

$$F = 3.5 * (1.0 - S_Y/Y_{\max}) + \exp[0.2 * (Y_{\max}/S_Y - 1.0)] \quad (22)$$

Notat

ENKI-rutine: ExportRasterSer

SAKSBEHANDLER / FORFATTER
Lena S Tøfte, Sjur Kolberg

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
Skriv Prosjektnr / sak nr

DATO
2013-05-23

GRADERING
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Eksport av raster-tidsserie på IDRISI-format: ExportRasterSer	3
2.1	Variabelgrensesnitt:	3
2.2	Kalibrering:	3
2.3	Bruk:	3

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

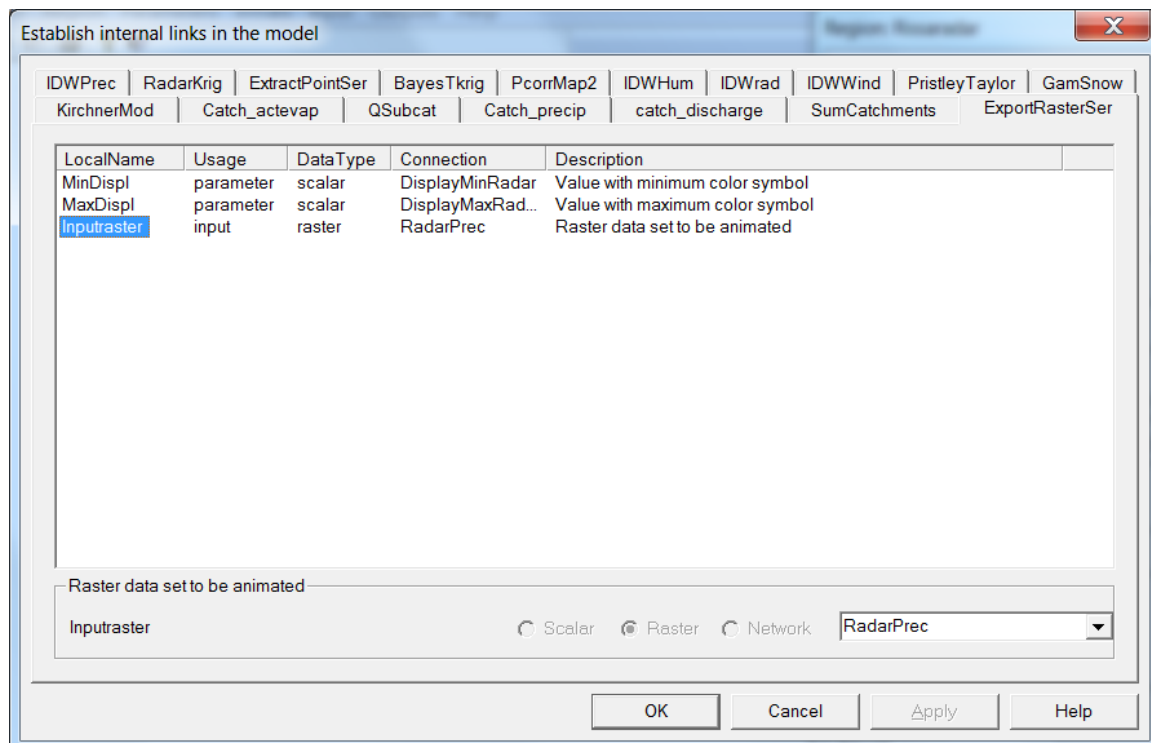
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjons høyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutineene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for ExportRasterSer

2 Eksport av raster-tidsserie på IDRISI-format: ExportRasterSer

ExportRasterSer tilrettelegger en raster-tidsserie på et GIS-format som brukes av programvaren IDRISI for å generere en animasjon av tidsutviklingen i dette rasteret. Den er en av svært få Enki-rutiner som gjør diskaksess.

2.1 Variabelgrensesnitt:

Statiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibreringsintervall
MinDispl	Parameter	Skalar	Laveste verdi i fargeskalaen, alle verdier lavere enn MinDispl vil få samme farge	Min(data), Avg-2sd, eller annen lav verdi
MaxDispl	Parameter	Skaler	Høyeste verdi i fargeskalaen, alle verdier høyere enn MaxDispl vil få samme farge	Max(data), Avg+2sd, eller annen høy verdi

Dynamiske variable			
Local name	Usage	Data type	Description
InputRaster	Input	Valgbar	Data som skal visualiseres, vilkårlig variabel og enhet.

2.2 Kalibrering:

De to parameterne kalibreres ikke i vanlig forstand, men settes til verdier som gir en fornuftig visualisering av data. Skaleringen er fast gjennom hele tidsserien, så en bør ekskludere ekstremer ganske hardhendt dersom en ønsker en god visuell framstilling av mer normale verdier.

2.3 Bruk:

ExportRasterSer reskalerer alle data mellom MinDispl og MaxDispl til intervallet [0,255], og eksporterer det skalerte kartet for hvert tidsskritt til et Byte-kart på IDRISI-format. Til slutt lagres lista over filnavn i ei .rgf-fil som IDRISI også bruker. IDRISI kjeder disse filene sammen til en animasjonsfil, og gir operatøren mulighet til å sette hastighet etc.

ExportRasterSer er en gammel rutine som ikke har vært utvidet mht flere GIS-formater. Den bør på sikt erstattes av kjernefunksjonalitet i Enki.

Notat

ENKI-rutine: ExtractPointSer

SAKSBEHANDLER / FORFATTER
Lena S Tøfte, Sjur Kolberg

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
Skriv Prosjektnr / sak nr

DATO
2016-05-23

GRADERING
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Eksport punkttidsserier fra raster: ExtractPointSer.....	3
2.1	Variabelgrensesnitt:	3
2.2	Kalibrering:.....	3
2.3	Bruk:	3

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

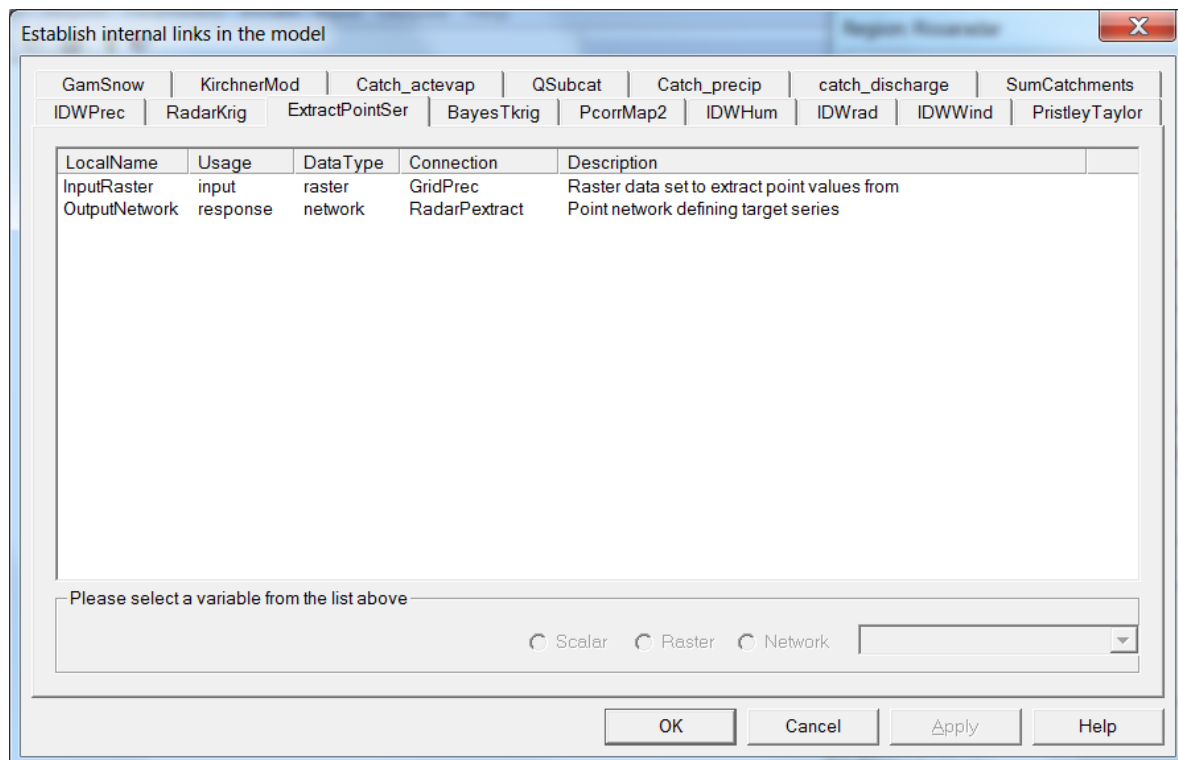
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjonshøyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutinene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for ExtractPointSer, her radarnedbør ved P-stasjonene

2 Eksport punkttidsserier fra raster: ExtractPointSer

ExtractPointSer er ikke en klassisk Enki-simuleringsrutine, men et hjelpemiddel til å eksportere punkttidsserier fra simuleringsvariable på rasterform.

2.1 Variabelgrensesnitt:

Rutinen har ingen statiske variable eller parametre.

Dynamiske variable			
Local name	Usage	Data type	Description
InputRaster	Input	Raster	Data som skal ekstraheres, vilkårlig variabel og enhet.
OutputNetwork	Response	Nettverk	De samme data, men bare i nettverkets punkter.

2.2 Kalibrering:

Rutinen har ingen kalibreringsparametre.

2.3 Bruk:

ExtractPointSer er en teknisk reformateringsrutine som henter ut enkeltcelle-verdier fra en rastervariabel og produserer tidsserier på nettverk-format. Dette kan være interessant der en vil analysere variabelens oppførsel videre ved et begrenset antall enkeltpunkter, for eksempel der en har uavhengig målte data. Eksempler på slike data som i noen grad er operativt tilgjengelige er snøputer og takseringsstrek, men også aktuell fordampning, albedo og grunnvannsstand er variable som kan måles og som en i varierende grad kan ha interesse av å evaluere modellen mot.

Konverteringen gjør at dataene kan plottes som enkelttidsserier, eksporteres fra Enki til Excel eller skrives ut som tidsserietabell, i stedet for en full raster-tidsserie.

Notat

ENKI-rutine: GamSnow snømodell

SAKSBEHANDLER / FORFATTER
Sjur Kolberg

BEHANDLING
UTTALELSE
ORIENTERING
ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
12X855

DATO
2015-10-20

GRADERING
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	GamSnow snømodell	3
2.1	Variable i GamSnow snørutine	3
2.2	Kalibrering:	4
2.3	Smelteligningen	4
2.3.1	Kortbølget stråling	5
2.3.2	Albedo	5
2.3.3	Langbølget stråling	5
2.3.4	Følbar og latent varme	6
2.3.5	Internt energiinnhold / fritt vann	6
2.4	Snøfordeling	6
2.5	Brerutine	7

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

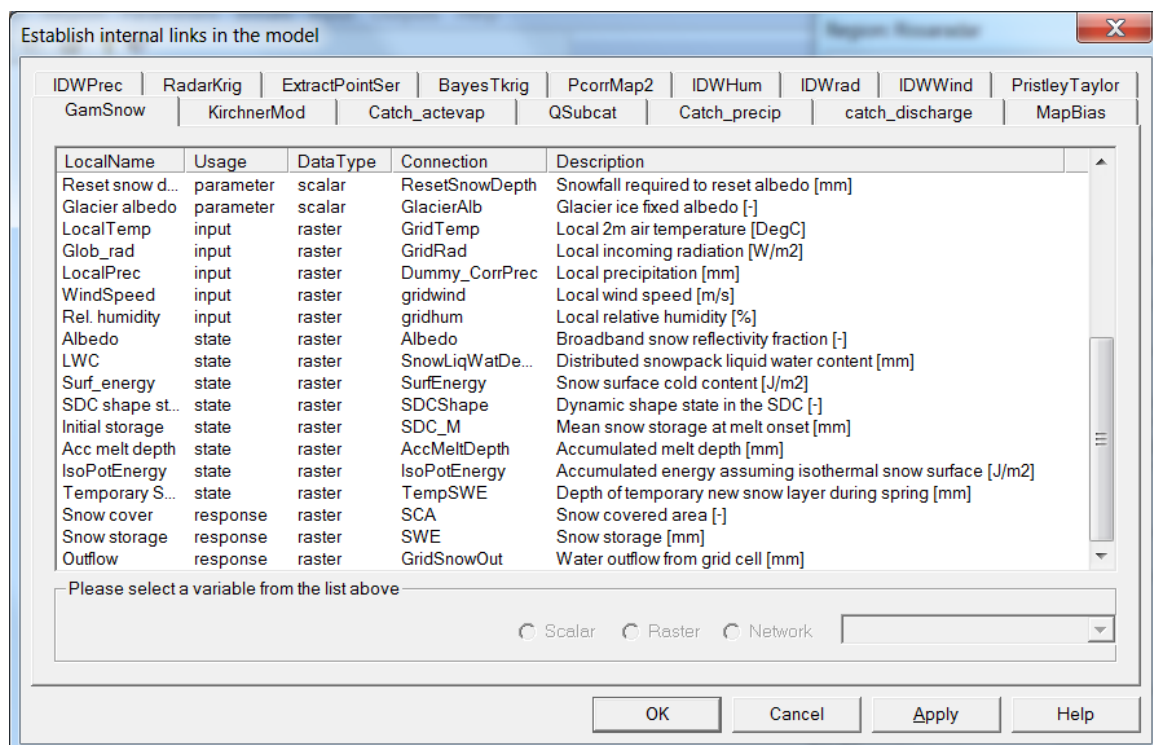
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjons høyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutinene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for GamSnow

2 GamSnow snømodell

Enkis GamSnow snørutine er en fordelt snømagasinerings- og smeltemodell spesielt tilpasset oppdatering og kalibrering ved hjelp av fjernmålt snødekningsgrad. Den anvender en energisum-ligning for selve smelteprosessen, og beskriver snøfordelingen i hver gridrute ved en Gammafordeling. For å kunne bevare denne Gamma-modellen gjennom ulike hendelsesforløp skjer simuleringen med litt ulike forutsetninger i akkumulasjons- og smeltesesong, blant annet slik at smelte-episoder om vinteren ikke resulterer i redusert snødekningsgrad med mindre snøen forsvinner helt fra gridruta.

2.1 Variable i GamSnow snørutine

Statistiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibrerings-intervall
Land use	Static	Valg-bar	Areatype i tre klasser: Landoverflate (2), åpent vann (1) og ekskludert område (0). [-]	{2,1,0} fra kart. Kan ignoreres (2).
Glaciers	Static	Valg-bar	Bredeknning som arealandel av hver rute eller romlig simuleringseenhet. [-]	[0,1] fra kart. Kan ignoreres (0).
Last Winter Day	Static	Valg-bar	Antatt dagnummer for skille mellom vinter og vår, start beregning av delvis snødekning.	90 tilsvarer 1 mars.
Init. bareground	Parameter	Valg-bar	Andel barblåst areal ved start smeltesesong (1 - maks snødekningsgrad). Anbef. fordelt.	0.05 i fjellet, 0.01 i skogen. [0,0.1]
SnowCV	Parameter	Valg-bar	Skjevfordeling av nysnøfall, variasjonskoeffisient. Anbef. fordelt. [-]	0.5 i fjellet, 0.15 i skogen. [0,1.5]
TX	Parameter	Valg-bar	Omslagstemperatur for skille mellom snø og regn. [°C]	1.0 [-3,3]
WindScale	Parameter	Valg-bar	Stigningstall i lineær vindfunksjon som styrer følbar og latent energiutveksling [-]	3.0 [1,10]
WindConst	Parameter	Valg-bar	Konstantledd i lineær vindfunksjon som styrer følbar og latent energiutveksling [-]	2.0 [0,10]
Maximum LWC	Parameter	Valg-bar	Vektandel fritt vann i snøpakka under metning [-]	0.1 [0.05, 0.15]
Surface	Parameter	Valg-bar	Refrysingsdybde, styrer kuldemagasinet i snøen under frostperioder om våren [mm].	50 [10,100]
Max albedo	Parameter	Valg-bar	Albedo (andel reflektert kortbølget stråling) for fersk nysnø. [-]	0.9 [0.8, 0.95]
Min albedo	Parameter	Valg-bar	Albedo for gammel snø [-].	0.65 [0.55,0.75]
Fast decay rate	Parameter	Valg-bar	Ekspensiell endringsrate for albedo under smelteforhold (halveringstid til min.) [døgn]	4 [1,10]
Slow decay rate	Parameter	Valg-bar	Lineær endringsrate for albedo under kalde forhold (halveringstid til min) [døgn]	10 [5,30]
Reset snow depth	Parameter	Valg-bar	Mengden nysnø som skal til for å sette albedo tilbake til maksimalverdi [mm]	30 [5,60]
Glacier Albedo	Parameter	Valg-bar	Albedo for isbreer etter at årets snø har smeltet bort. [-]	0.4 [0.2, 0.5]

Dynamiske variable			
Local name	Usage	Data type	Description
Local temp	Input	Valgbar	Lokal lufttemperatur i standard målehøyde [°C]
Global rad	Input	Valgbar	Kortbølget stråling inn mot horisontal flate [W/m ²]
Local prec	Input	Valgbar	Lokal nedbør [mm]
Wind speed	Input	Valgbar	Lokal vindhastighet i standard målehøyde [m/s]
Rel. Humidity	Input	Valgbar	Lokal relativ luftfuktighet i standard målehøyde [%]
Albedo	State	Valgbar	Andel reflektert kortbølget stråling [-]
LWC	State	Valgbar	Mengde fritt vann i snøen [mm]
Surf_energy	State	Valgbar	Kuldemagasinet i toppsnølaget [J/m ²]
SDC shape state	State	Valgbar	Skjevfordeling av snømagasin, variasjonskoeffisient [-]
Initial storage	State	Valgbar	Snømagasin ved starten av smeltesesongen [mm]
Acc melt depth	State	Valgbar	Akkumulert smeltestedyp gjennom smeltesesongen [mm]
IsoPotEnergy	State	Valgbar	Teoretisk akkumulert energi gjennom sesongen [J/m ²]
Temporary SWE	State	Valgbar	Temporært nysnølag under smeltesesongen [mm]
Snow cover	Response	Valgbar	Andel snødekket areal under smeltesesongen [-]
Snow storage	Response	Valgbar	Gjenværende snømagasin under smeltesesongen [mm]
Outflow	Response	Valgbar	Netto snøsmelting+regn ut av snøpakka [mm]

2.2 Kalibrering:

GamSnow har mange parametre, og alle kan ikke identifiseres entydig ved målt vannføring alene. En vil altså kunne oppnå gode simuleringer med svært ulike kombinasjoner av parameterverdier (likegodhet). Satellittbilder for snødekning, snøtemperatur og albedo, samt snøpute- og snøstrekkmålinger er alle eksempler på datakilder som kan rettferdiggjøre høy kalibreringsfrihet, men selv med disse kildene i bruk er GamSnow i overkant kompleks med hensyn til empirisk identifikasjon av parameterne.

For tilsigsformål anbefales å kalibrere TX, 1-2 albedoparametre, og maksimalt én av vind-parameterne, samt GlacierAlb dersom det er breer i området. Selv dette begrensede utvalget kan preges av likegodhet, særlig med få delfelt i regionen, eller dersom datagrunnlaget er svakt. Har en snøstrekkmålinger i feltet kan disse med fordel brukes for å estimere fordelte verdier for Init. bareground og SnowCV, men algoritmer for slik estimering er ikke en del av Enki eller GamSnow.

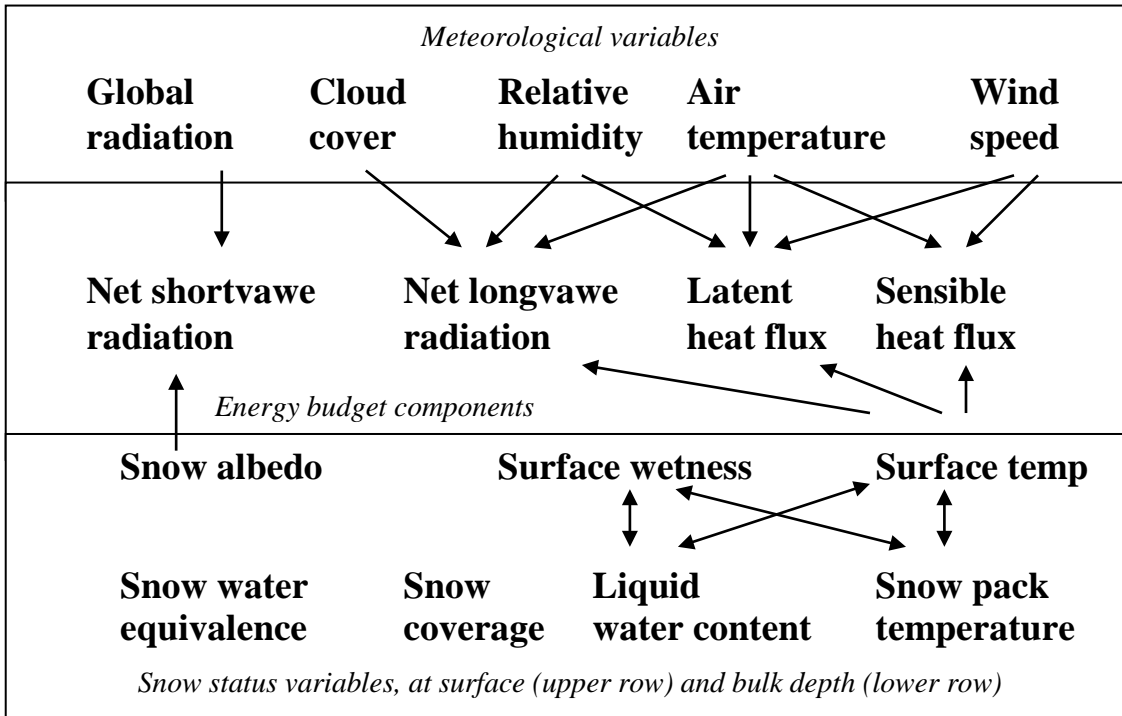
I tillegg til at en i Enki kan kalibrere mot satellittbilder, er det i tilknytning til GamSnow laget eksterne rutiner for bayesiansk assimilering av snødekningsdata, både til oppdaterings- og kalibreringsformål (Kolberg et al, 2006, Kolberg og Gottschalk, 2010). Dette er tunge beregninger som inkluderer romlig avhengigheter, og programvaren for dette er verken operasjonalisert eller integrert med resten av Enki.

2.3 Smelteligningen

Energisum-konseptet er i hovedsak en energibalanse (figur 1), men med forenklede sammenhenger mellom de interne energibudsjettkomponentene. I en full energibalansmodell simuleres temperaturen i snøoverflaten og kuldemagasinet i topplaget som gjensidig avhengige, noe som nødvendigvis involverer en beskrivelse av energifordeling over dybdeprofilen. Dette er unødig detaljert for tilsigsformål, og ville også være følsom for variable som en pga romlig heterogenitet og usikkerhet har svak informasjon om.

Som en pragmatisk løsning er derfor snøoverflatens temperatur beholdt, men den estimeres som en lineær avhengighet av lufttemperatur. Dette muliggjør bruk av energibalanse-ledd der snøtemperatur inngår i uttrykkene for langbølget stråling, følbare og latent varmeutveksling. Parameterne i den lineære avhengigheten er i nåværende versjon av GamSnow hardkodet, og baserer seg på en undersøkelse av ett

enkelt datasett fra Statkrafts målestasjon ved Stugudal i Tydal, der strålingstemperaturen i snøoverflata ble målt med et Kipp & Zonen CNR-1-instrument. Det vil være gunstig med flere undersøkelser for å validere modellen og justere disse parameterne.



Figur 1: Energibalanse over et snødekke

2.3.1 Kortbølget stråling

Kortbølget stråling representerer en stor andel av energien som går til snøsmelting, særlig i fjellområder og langt fra kyst. Kortbølget stråling måles gjerne som globalstråling, dvs som intensitet mot ei horisontal flate. Globalstrålingen er en funksjon av solhøyde og skydekke, og i noen grad av atmosfærens transmissivitet. Solhøyden er teoretisk kjent med stor presisjon, dermed vil observasjon av skydekke, enten manuelt eller fra satellitt, være en god erstatning for målt globalstråling. Selv med manglende skydekke data vil solhøyde gi grunnlag for et variasjonsmønster både over døgnet og over året, som lufttemperaturen ikke gjenskaper.

2.3.2 Albedo

Albedo for ei snøoverflate, dvs andelen kortbølget strålingsenergi som reflekteres fra flata, varierer fra over 0.9 for kald nysnø, til under 0.6 for gammel, grovkornet snø. Kornstørrelsen er den viktigste styrende faktoren, og albedo avhenger av en aldringsprosess som går fortere i mildvær enn i stabil kulde. Den valgte albedomodellen har to aldringshastigheter, en langsom og lineær som benyttes når temperaturen er under 0, og en hurtig og eksponentiell som brukes ved plussgrader. Med andre ord synker albedo for smeltende snø fort til å begynne med, men langsommere etter hvert. Ved nysnøfall økes albedoen eksponentielt mot nysnøverdien, med en endringsrate gitt av `ResetSnowDepth`-parameteren. Modellen glemmer den gamle snøoverflatens albedo, under antagelse om at før nysnølaget har forsvunnet, har det vært igjennom en metamorfose som reduserer albedoen til nær den gamle verdien.

2.3.3 Langbølget stråling

Langbølget stråling er som kortbølget en balanse mellom inngående og utgående, men der utgående stråling drives av temperaturen i snøoverflaten, og er uavhengig av den innkommende. Innkommende langbølget stråling simuleres med basis i lufttemperatur og vanddamptrykk. Skydekke er ikke

representert, forskjellen i innstråling på en klar og en overskyet natt kommer likevel til syne gjennom at lufttemperaturen er ulik. GamSnow er ikke satt opp for å nyttiggjøre målt eller varslet langbølget stråling.

2.3.4 Følbar og latent varme

Følbar og latent varme er to komponenter av turbulent energiutveksling, dvs der sirkulasjon av luft over snøpakka er den vesentligste mekanismen bak energitransport. For begge komponenter inngår en lineær vindfunksjon med parametre WindScale og WindConst. Denne multipliseres for følbar varme med forskjellen mellom luft- og snøtemperatur, for latent varme med forskjellen mellom vanddamptrykk i standardhøyde (2m) og like over snøoverflaten, samt den psykrometriske konstanten. Det antas at lufta umiddelbart over snøoverflaten er fuktighetsmettet. Vanddamptrykket er en funksjon av relativ luftfuktighet og temperatur.

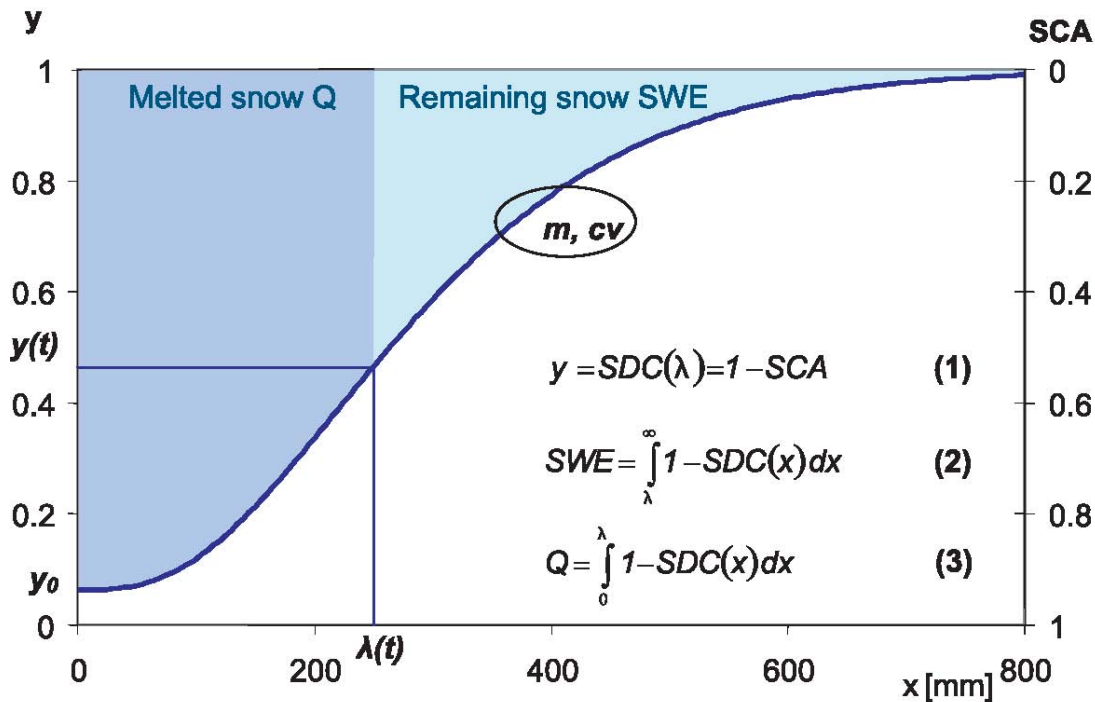
2.3.5 Internt energiinnhold / fritt vann

Den totale energifluksen fra de fire hovedkomponentene gir potensiell smelting, som er enten positiv eller negativ. Denne øker eller reduserer energiinnholdet i snøoverflaten, som har en viss tykkelse (surface [mm]) uavhengig av snødybden. Dette energiinnholdet er enten negativt eller 0, over dette går overskytende energi til smelting. I tillegg til det dynamiske topplaget, har hele snøpakka et vanninnhold (LWC [mm]) som kan økes, men ikke reduseres, og som virker forsinkende på smelteavrenning ved sesongstart. Sammen med snøfordelingen kan dette gi metning og avrenning fra deler av ei gridrute.

2.4 Snøfordeling

Beskrivelsen av romlig heterogen snøpakke innenfor gridruta er basert på en snøfordelingskurve (figur 2; eng: "snow depletion curve"), slik den er brukt blant annet av Liston (1999) og Luce et al (1999). Den kan leses som en kumulativ frekvensfordeling av punkt-snømagasin innenfor gridruta, ved slutten av akkumulasjonssesongen. Den kan også leses som barmarks-andel som en funksjon av akkumulert smeltestedyp. Begge disse kurvene eksisterer, og dersom en kan anta at smelteprosessen er homogen innenfor ruta, er de ekvivalente. Hvis en ikke kan gjøre en slik antagelse vil de fortsatt eksistere, være relevante og svært avhengige av hverandre, men ikke nøyaktig like. I GamSnow gjøres denne antagelsen. Den eneste tilstandsvariabelen som beskriver smeltingens forløp er akkumulert smeltestedyp λ , mens snødekningsgrad, avrenning og gjenværende snømagasin alle er funksjoner av akkumulert smelting, når snøfordelingskurven er gitt.

Tilnærmingen med en parametrisk kurve som trunkeres ved akkumulert smelting gjør at en ikke kan ta hensyn til alle kombinasjoner av akkumulerings- og smeltehendelser. Dette ville gi snøfordelingen et knekkpunkt hver gang det snør på delvis snødekt mark, og slike vilkårlige knekkpunkter kan ingen kurve med et moderat parameterantall representere. I stedet tas utgangspunkt i at de fleste norske nedbørfelt har godt separert akkumulasjons- og smeltesesong. Modellen behandler smelte-episoder om vinteren uten å redusere snødekningsgraden, og den behandler nysnø i smeltesesongen uten å re-fordele den snøen som faller på bar mark. Forenklingen kan synes grov for kystnære felt i lav høyde, men er en forutsetning for en stabil sammenheng mellom snødekningsgrad og massebalanse, som er grunnlaget for bruken av satellittbilder i kalibrering og oppdatering av tilstand. I områder med godt avgrenset vintersesong, der hovedtyngden av snømagasinet er akkumulert fra snøfall på allerede fullt snødekt mark, har forenklingen liten effekt.



Figur 2: Snøfordelingskurve framstilt som kumulativ frekvensfordeling, parametrisert ved middelværdi m , variasjonskoeffisient cv og initiell barmarksandel y_0 . Under smelting er $\lambda(t)$ akkumulert smeltedyp, funksjonsverdien $y(t) = 1 - SCA$ er andel bar mark, mens vannbalansen fremkommer ved å integrere $(1 - y(x))$ over $0 - \lambda$ for akkumulert avløp, og over $\lambda - \infty$ for gjenværende snømagasin.

I prinsippet kan en hvilken som helst monoton funksjon anvendes som snøfordelingskurve, for eksempel en stykkevis lineær sammenheng som i HBV, eller en annen empirisk valgt segment-kombinasjon av uttrykk som i Luce et al (1999). Parameterne i kurven skal imidlertid estimeres. Særlig i en fordelt modell, der selv et omfattende snømåleprogram bare dekker en liten andel av rutene, er det grunn til å være moderat i antall parametre. I GamSnow brukes en 2-parameter Gammafordeling (derav rutinenavnet), med et ekstra ledd y_0 for lokaliteter som aldri samler snø. Dette gir tre parametre; middelværdi (m), variasjonskoeffisient (cv) og initiell barmarksprosent (y_0). Av disse er middelværdien sesongspesifikk, og simuleres som resultat av snøfall og smelteepisoder gjennom vinteren. De to andre er modellparametre, som kan angis enten som kalibreringskonstanter, eller estimeres som fordelte kart.

Idet en går over fra akkumulasjons- til i smeltesesong låses urven, og en begynner å akkumulere smeltedyp, som altså antas å være romlig homogent innenfor hver enkelt rute. Smeltingen endrer med andre ord ikke selve kurven, som nå en monotont stigende funksjonssammenheng mellom akkumulert smeltedyp og andel barmark (figur 2). Nysnø på areal som stadig er dekket av kurven, fordeles på samme måte som om vinteren, mens nysnø på bar mark legges homogent, og gir midlertidig full snødekning. Idet nysnølaget er borte går snødekingsgraden momentant tilbake til kurvens verdi, mens kurven har fått et tillegg som er i overensstemmelse med Gamma-uttrykket.

2.5 Brerutine

Isbreer representeres i GamSnow som et uendelig magasin med konstant utstrekning. Brerutinen aktiveres av at en gir rutinen et kart over bre-utstrekning, gitt som en andel i hver rute. Den deaktiveres dersom en ikke kobler opp et slikt kart, dvs velger <routine local> for *Glaciers*-variabelen når en kobler

opp modellen. Det beregnes snøsmelting fra bre på samme måte som fra snø, men uten noen form for vannbalanse eller innhold av fritt vann. I tillegg kan det settes en annen (lavere) albedo for breis enn for snø, typisk rundt 0.4. Ei rute som er helt eller delvis dekket av bre har et fordelt snømagasin som ei hvilken som helst rute, og det er antatt at det siste som smelter fram er breen. Det vil si at det ikke skjer noen bresmelting før snødekningsgraden er mindre enn bre-andelen, og andelen eksponert breis er altså differansen mellom breareal og snødekket areal. På samme måte som i andre ruter vil snødekningsgraden gå direkte til $1-y_0$ ved nysnøfall i smeltesesongen, og bresmelting opphører til breisen igjen er eksponert.

Referanser

- Kolberg, S. A., H. Rue, and L. Gottschalk (2006), A Bayesian spatial assimilation scheme for snow coverage observations in a gridded snow model. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 10(3), 369–381.
- Kolberg, S and L. Gottschalk, 2010: Interannual stability of grid cell snow depletion curves as estimated from MODIS images. *Water Resources Research* vol. 46, doi: 10.1029/2008WR007617.
- Liston, G.E.: Interrelationships among Snow Distribution, Snowmelt, and Snow Cover Depletion: Implications for Atmospheric, Hydrologic, and Ecologic modelling. *Journal of Applied Meteorology*, vol. 38, s. 1474-1487 (1999).
- Luce, C.H., Tarboton, D.G. and Cooley, K.R.: Sub-grid parameterization of snow distribution for an energy and mass balance snow cover model. *Hydrological Processes* 13, s. 1921-1933 (1999).

Notat

ENKI-rutine: HBVResponse

SAKSBEHANDLER / FORFATTER
Lena S Tøfte, Sjur Kolberg

BEHANDLING
UTTALELSE
ORIENTERING
ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge
Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet
www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
Skriv Prosjektnr / sak nr

DATO
2013-05-23

GRADERING
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Hydrologisk responsmodell: HBVResponse	3
2.1	Variabel-grensesnitt	3
2.2	Kalibrering:	4
2.3	Ligningsgrunnlag og løsningsalgoritme:	4

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

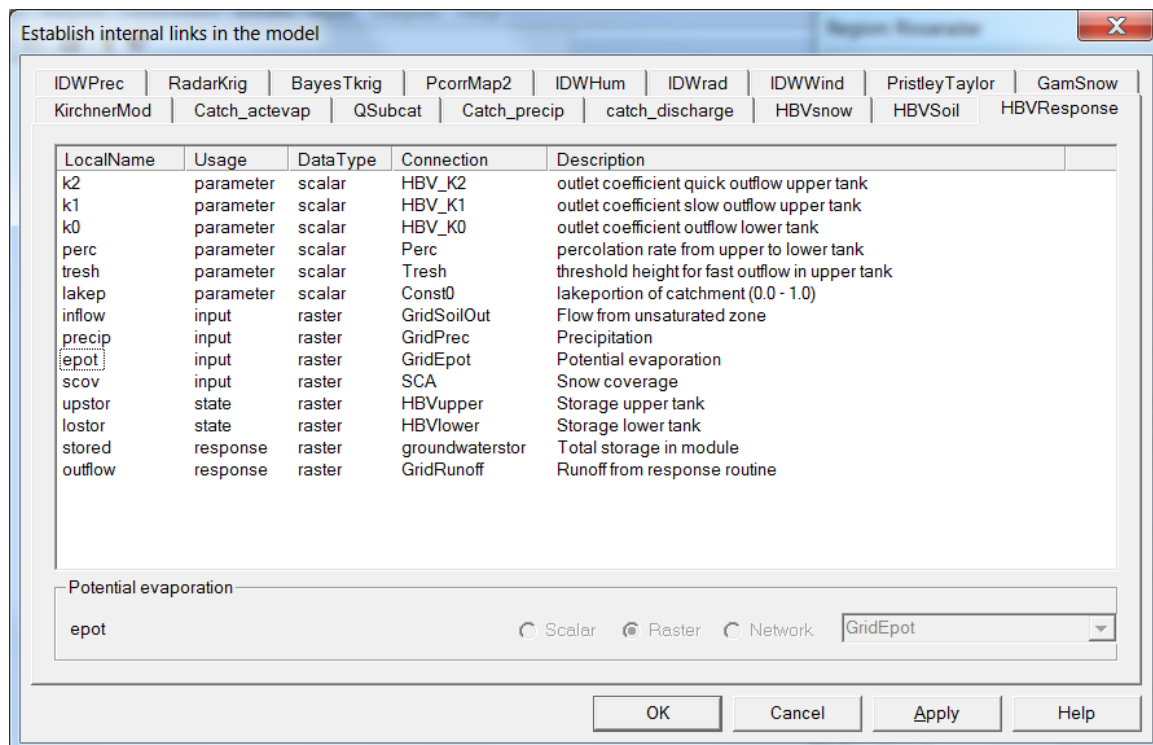
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjons høyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutineene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for HBVResponse.

2 Hydrologisk responsmodell: HBVResponse

Enki-rutinen HBVResponse er som navnet antyder hentet fra den klassiske HBV-modellen. Sammen med de øvrige HBV-modulene er den utviklet for områder der mesteparten av avløpet drenerer gjennom grunnen, og ikke ved overflateavrenning. Dette er typisk for kaldtempererte områder med morenejord, der nedbørintensiteten sjelden er større enn infiltrasjonskapasiteten. I slike felt har initiell fuktighet stor innflytelse på hvordan feltet responderer på et nedbørtilfelle

HBVRespons er satt sammen av to kar, det nederste lineært og langsomt responderende, det øverste stykkevis lineært og raskere i responsen. Fra det øvre til det nedre går det en fast perkolasjon. Enki bruker samme implementasjon for gridruter som for delfelt (eller høydesoner), uten noen form for tilpasning. Ulike varianter over HBV har representert overflateavrenning som egen prosess, eller lagt til et tredje lineært segment i øvre sone. Enkis HBVRespons har ikke dette.

HBVRespons krever ingen kartbaserte feltegenskaper for å settes opp. Nødvendig dynamisk input er drenering fra markvannsone samt nedbør, potensiell fordampning og snødekningsgrad. Alle de tre siste er aktive bare i innsjøer. Rutinen har to tilstander (hvert av de to karene), og to responsvariable; avløp og grunnvannsmagasin. Det siste er ikke noe annet enn summen av karinnhold i øvre og nedre sone.

2.1 Variabel-grensesnitt

Statistiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibreringsintervall
k2	Parameter	Valgbar	Raskeste utløpskoeffisient fra øvre sone [day ⁻¹]	0.25 [0.1, 0.6] k2 > k1
k1	Parameter	Valgbar	Langsomste utløpskoeffisient fra øvre sone [day ⁻¹]	0.08 [0.03, 0.15] k2 > k1 > k0
k0	Parameter	Valgbar	Utløpskoeffisient fra nedre sone [day ⁻¹]	0.01 [0.001, 0.05] k0 < k1
Perc	Parameter	Valgbar	Perkolasjonshastighet fra øvre til nedre sone [mm/day]	0.5 [0.1, 2]
Tresh	Parameter	Valgbar	Terskel for raskeste utløpskoeffisient i øvre sone [mm]	20 [5, 50]
Lakep	Parameter	Valgbar	Innsjøandel [-]	0 [0, 1]

Dynamiske variable			
Local name	Usage	Data type	Description
Inflow	Input	Valgbar	Drenering fra umettet sone [mm]
Precip	Input	Valgbar	Nedbør. Brukes for innsjøer [mm]
Epot	Input	Valgbar	Potensiell fordampning. Brukes for innsjøer. [mm]
Scov	Input	Valgbar	Snødekningsgrad. Brukes for innsjøer. [-]
Upstor	State	Valgbar	Magasininnhold i øvre sone [mm]
Lostor	State	Valgbar	Magasininnhold i øvre sone [mm]
Stored	Response	Valgbar	Totalt magasininnhold [mm]
Outflow	Response	Valgbar	Avløp fra grunnvannssonen [mm]

2.2 Kalibrering:

Det er vanlig å kalibrere fem av de seks parameterne (unntatt lakep), selv om det i de færreste tilfeller er nok informasjon til å identifisere fem parametre. Resultatet er at en må forvente avhengighet mellom flere av disse. k_2 og tresh er normalt de mest innflytelsesrike parameterne, i hvert fall så lenge kalibreringskriteriet er Nash-Sutcliffe R^2 som legger stor vekt på flomvannføring. Enki har ingen mekanisme som sørger for at de tre utløpskonstantene har en fornuftig innbyrdes fordeling; brukeren må selv sørge for at $k_2 > k_1 > k_0$ også under autokalibrering. For alle disse betyr høyere verdi raskere respons og mindre demping.

2.3 Ligningsgrunnlag og løsningsalgoritme:

HBVResponse er formulert som to kar, øvre sone og nedre sone. Øvre sone er et stykkevis lineært kar, mens nedre sone er et rent lineært kar. Det er en fast perkolasjonsrate mellom øvre og nedre sone. Utstrømmingen fra øvre sone er gitt ved:

$$Q_u(h_u) = \begin{cases} k_1 h_u & h_u \leq h_T \\ k_1 h_T + k_2 (h_u - h_T) & h_u > h_T \end{cases} \quad (1)$$

der Q_u (mm/døgn) er utstrømming, k_1 (1/døgn) og k_2 (1/døgn) er tømmekonstanter, h_u (mm) er nivå i øvre sone og h_T (mm) er terskelverdi. Innstrømmingen gitt ved Q_{in} (mm/døgn) og en perkolasjon til nedre sone gitt ved Q_P (mm/døgn). Utstrømming fra nedre sone er gitt ved:

$$Q_n(h_n) = k_0 h_n \quad (2)$$

der Q_n (mm/døgn) er utstrømming, k_0 (1/døgn) er tømmekonstant, h_n (mm) er nivå i nedre sone. Innstrømming til nedre sone gitt ved Q_P (mm/døgn).

I det følgende beskrives kun løsningen for øvre sone. Tilsvarende løsning ble også brukt på nedre sone. Den vanlige numeriske løsningen av (1) for et tidskritt med lengde d er slik:

- Er vannstanden $h_{u,t0}$ ved tiden $t0$ gitt, beregnes først et midlertidig vanninnhold gitt ved $h_{u,t^*} = h_{u,t0} + Q_{in,t} - Q_P$
- Deretter beregnes midlere utstrømming over tidsskrittet som: $Q_{u,m} = Q_u(h_{u,t^*})$
- Til sist beregnes vannstand ved slutten av tidsskrittet som $h_{u,t0+d} = h_{u,t^*} - Q_{u,m}$.

Vi ser at denne løsningen respekterer vannbalansen, men at den midlere utstrømmingen over tidsskrittet har en tilnærming som kan være spesielt stor når det er store endringer i vannstanden i øvre sone over tidsskrittet.

I den alternative løsningen løses følgende massebalanseligning:

$$\frac{dQ_u}{dt} = \frac{dQ_u}{dh_u} \frac{dh_u}{dt} = \frac{dQ_u}{dh_u} (Q_{in} - Q_P - Q_u) \quad (3)$$

Den deriverte av utstrømmingen er fra (1) gitt ved:

$$\frac{dQ_u}{dh_u} = \begin{cases} k_1 & h_u \leq h_T \\ k_2 & h_u > h_T \end{cases} \quad (4)$$

Utstrømningen blir beregnet ved å integrere (2) i tid ved å bruke en adaptiv Bogacki-Shampine metode. Initialverdien til utstrømningen beregnes fra vannstanden i øvre sone ved å bruke (1). Med en initialverdi Q_{t0} ved tiden $t0$, vil verdien ved tid $t1 = t0 + d$ bli beregnet som:

$$Q_{t1,3} = Q_{t0} + d \left(\frac{2}{9} w_1 + \frac{1}{3} w_2 + \frac{4}{9} w_3 \right) \quad (5)$$

$$Q_{t1,4} = Q_{t0} + d \left(\frac{7}{24} w_1 + \frac{1}{4} w_2 + \frac{1}{3} w_3 + \frac{1}{8} w_4 \right) \quad (6)$$

Der vektene blir beregnet slik:

$$\begin{aligned} w_1 &= Q'(Q_0) \\ w_2 &= Q' \left(Q_0 + \frac{1}{2} dw_1 \right) \\ w_3 &= Q' \left(Q_0 + \frac{3}{4} dw_2 \right) \\ w_4 &= Q'(Q_{t1,3}) \end{aligned} \quad (7)$$

Hvis $\text{abs}(Q_{t1,4} - Q_{t1,3})$ er større enn en toleranse satt til 0.0002 mm, blir et adaptivt skritt utført ved å dele tidsskrittet i to og repetere Bogacki-Shampine method. Det korteste tidsskrittet er 5 minutt.

I metoden blir det eksplisitt skilt mellom midlere utstrømningen over et tidsintervall og den instantane utstrømningen. Midlere utstrømning over tidsskrittet d blir beregnet som:

$$\bar{Q}_t = 0.25Q_{t0} + 0.375 \left(Q_{t0} + \frac{1}{2} dw_1 \right) + 0.25 \left(Q_{t0} + \frac{3}{4} dw_2 \right) + 0.125Q_{t1,30} \quad (8)$$

Metoden har følgende sekvens

- Beregn netto vertikal fluks (innstrømning – perkolasjon) over tidsskrittet. Er netto vertikal fluks større enn vannstanden, skjer det ingen lateral utstrømning
- Vannstanden ved starten av tidsskrittet tas fra beregningene for forrige tidsintervall
- Utstrømningen ved starten av tidsskrittet er gitt ved (1)
- Integrer utstrømningen ved bruk av Bogacki-Shampine metoden for å beregne utstrømningen ved slutten av tidsskrittet.
- Beregn midlere utstrømning over tidsskrittet
- Beregn vannstanden ved slutten av tidsskrittet ved bruk av vannføringen ved slutten av tidsskrittet.

Notat

ENKI-rutine: HBVSnow

SAKSBEHANDLER / FORFATTER
Lena S Tøfte, Sjur Kolberg

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
12X855

DATO
2016-02-23

GRADERING
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Snøakkumulering og –smelting: HBVSnow	3
2.1	Variabel-grensesnitt	3
2.2	Kalibrering:	3
2.3	Bruk:	4

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

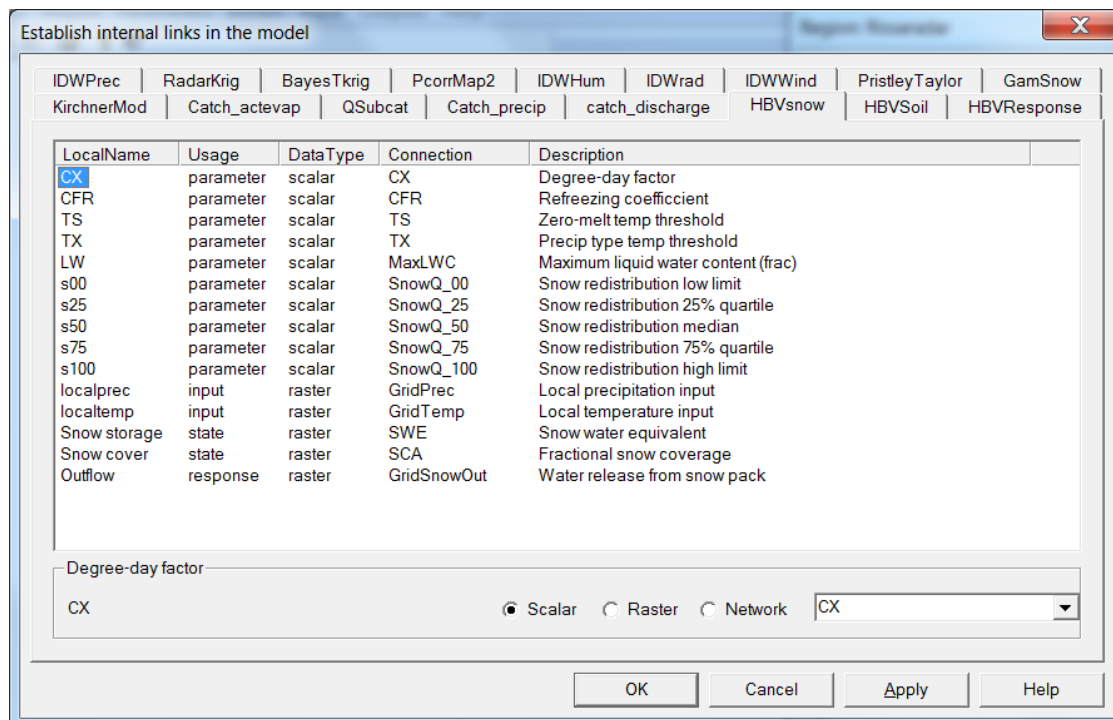
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjons høyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutinene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for HBVSnow

2 Snøakkumulering og –smelting: HBVSnow

HBVSnow er en fordelt snørutine som behandler akkumulering og smelting av snømagasin i valgbar romlig oppløsning. Innenfor den romlige simuleringsenheten har HBVSnow en statistisk snøfordeling beskrevet av kvantiler, som gjør at snødekningsgraden kan variere trinnløst mellom 0 og 100%. Smelteligningen er en klassisk graddagsmodell. HBVSnow håndterer ikke isbreer.

I den klassiske HBV-modellen opererte HBVSnow i høydesoner, ofte 10. Enkis implementasjon er tilpasset griddet simulering, og har ikke høydesoner innenfor hver gridrute. Den kan også settes opp med klassisk høydesonefordeling, dersom en lager et høydesonekart på forhånd slik at hver høydesone er sin egen simuleringsenhet. Ut over dette har HBVSnow ingen krav til fordelt bakgrunnsinformasjon. Dynamisk input er nedbør og temperatur.

2.1 Variabel-grensesnitt

Statistiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibreringsintervall
CX	Parameter	Valgbar	Graddagsfaktor, snøsmeltingens følsomhet for temperatur [mm/(°C*day)]	3.5 (2.0 – 6.0)
CFR	Parameter	Skalar	Refrysings-koeffisient, multipliseres med CX når temperaturen er under smeltepunktet [-]	0.1 [0.0, 0.4]
TS	Parameter	Valgbar	Terskeltemperatur for smelting [°C]	1.0 [-1.0, 3.0]
TX	Parameter	Skalar	Omslagstemperatur for inndeling av nedbør i snø og regn. [°C]	1.0 [-1.0, 3.0]
LW	Parameter	Skalar	Maksimalt innhold av fritt vann i snø. Vektandel [-]	0.1 [0.05, 0.15]
S00, S25, S50, S75, S100	Parameter	Valgbar	Kvantiler i statistisk snøfordeling, anvendes som vektorer for omfordeling av nysnøfall. HBVSnow normaliserer vektene til sum = 1.	Kalibreres sjelden. S00 > S25 > etc.

Dynamiske variable			
Local name	Usage	Data type	Description
Localprec	Input	Valgbar	Nedbør [mm/tidsskritt]
Localtemp	Input	Valgbar	Lufttemperatur [°C]
Outflow	Response	Valgbar	Sum av snøsmelting, regn og frigjort snøvann [mm/tidsskritt]
Snow storage	State	Valgbar	Gjenværende snømagasin [mm]
Snow cover	State	Valgbar	Snødekningsgrad [-]

2.2 Kalibrering:

Det anbefales å konsentrere kalibreringen om de fire første parameterne. Omslagstemperaturen TX er ofte den viktigste og best identifiserbare parameteren i hele modellen. CX og TS vil være avhengige av hverandre, men er i de fleste tilfeller så innflytelsesrike at begge bør være med. CFR (og LW) kan regulere igangsetting av smeltesesongen, og også døgnforløpet ved times-simulering, men har generelt mindre effekt. Snøfordelingsparameterne anbefales ikke kalibrert fra vannføringsinformasjon, men kan gjerne estimeres fra snøtakseringsdata eller analyse av satellittbilder mhp snødekningsgrad.

2.3 Bruk:

HBV-modellens snørutine er en klassisk graddagsmodell, utvidet med høydesoner og intern snøfordeling for å være egnet i fjellområder. Enkis HBVsnow er beregnet på griddet simulering, og har ikke ytterligere høydesonefordeling innenfor gridrutene. Graddagsmodellen har trass i sin enkelthet vist seg konkurransedyktig mot mer komplekse modeller for svært mange anvendelsesområder; men kan i små felt og ved høy tidsoppløsning vise svakheter. Den er avhengig av kalibrering og dermed ikke spesielt godt egnet til simulering i umålte felt, eller under andre klimatiske forhold. Spesielle episoder kan også gi svake simuleringer, for eksempel ved midtvinters smelteepisoder når sammenhengen mellom temperatur og de øvrige energikomponentene er en helt annen enn under den normale smeltesesongen.

En annen utfordring inntreffer når en skal oppdatere eller kalibrere modellen på annet enn vannføring, eksempelvis snøtakseringer eller satellittbilder. Graddagsmodellen virker ved å la temperaturen styre også den strålingsdrevne smeltingen, dermed må temperaturfølsomheten være høyere enn det de direkte temperaturavhengige energibidragene gir grunnlag for. Dette gjør at også høydeavhengigheten i smelteprosessen blir sterkere enn reelt. Kalibreringsprosessen kompenserer for dette gjennom den friheten som finnes, men når denne friheten reduseres ved at en krever samsvar med takseringer og snødekningskart, kan en oppleve at modellen presterer dårligere etter oppdatering.

HBVSnow har i virkeligheten langt flere tilstandsvariable enn de som er eksponert i rutinens variabelgrensesnitt. Grunnen til dette er at det simuleres full vannbalanse i alle de fem kvartilene i snøfordelingen, uavhengig av hverandre, men med samme input. Hver kvartil har derfor sin egen vannekvivalent og sitt fuktighetsinnhold, altså ti tilstandsvariable i tillegg til snødekningsgraden. I en griddet modell vil eksponering av disse interne variablene kreve ti rasterkart som må håndteres av Enkirammeverket. For å unngå dette er HBVSnow forsynt med en re-estimering av denne fordelingen ved oppstart, ut fra samlet vannekvivalent og snødekningsgrad. Tilnærmingen er god, men ikke presis, og gjør at HBVSnow ikke simulerer eksakt det samme når den starter og stopper flere ganger gjennom sesongen, som når den kjører hele sesongen igjennom uten re-initialisering. Feilen er størst når HBVSnow re-initialiseres etter betydelig smelting.

Notat

ENKI-rutine: HBVSoil

SAKSBEHANDLER / FORFATTER

Kolbjørn Engeland, Sjur Kolberg

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR

Skriv Prosjektnr / sak nr

DATO

2016-02-23

GRADERING

Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Fordampning og lagring i umettet sone: HBVSoil	3
2.1	Variabelgrensesnitt	3
2.2	Kalibrering:	3
2.3	Bruk	4
2.4	Ligningsgrunnlag:	4

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

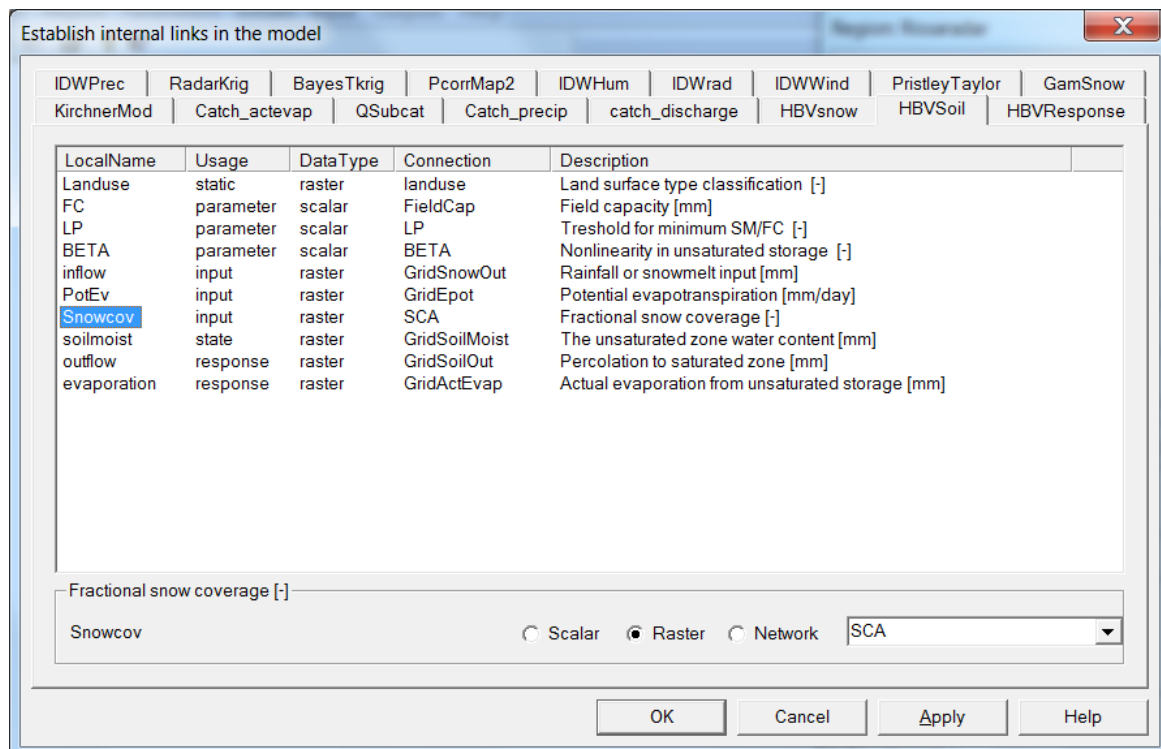
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjons høyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutineene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for HBVSoil

2 Fordampning og lagring i umettet sone: HBVSoil

HBVSoil er markvannsrutina fra den klassiske HBV-modellen, som behandler fordampning og markvannsmagasin (lagring i umettet sone). Markvannsmagasinet er begrenset av feltkapasiteten. En ikkelineær funksjon av dette magasininnholdet bestemmer hvor stor andel av regn og snøsmelting som går forbi HBVSoil til drenering/responsrutine, og hvor mye som går til å øke markvannsmagasinet opp mot feltkapasitet. Markvannsmagasinet dreneres ikke, og kan bare reduseres ved fordampning. I innsjø-ruter går alt vannet rett forbi HBVSoil.

Nødvendig informasjon for rutinen er et arealtype-kart som i den eksisterende versjonen ikke gjør annet enn å filtrere ut innsjøer/magasiner (kode 1) og gridceller utenfor simuleringsområdet (kode 0) fra øvrig terreng (kode 2 og over). Dynamisk input er regn+snøsmelting, potensiell fordampning og snødekningsgrad. HBVSoil setter fordampningen til 0 for den snødekte delen av simuleringsenheten.

2.1 Variabelgrensesnitt

Statiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibrerings-intervall
Landuse	Static	Valgbar	Kode for arealtype. 0=utenfor området, 1=innsjø, 2+ = terreng [-]	Kalibreres ikke
FC	Parameter	Valgbar	Feltkapasitet i umettet sone [mm]	200 [50,400]
BETA	Parameter	Valgbar	Ikkelinearitet i ligningen som regulerer hvor fort markvannsmagasiner fylles. [-]	2.0 [1.0, 6.0]
LP	Parameter	Valgbar	Terskel for full fordampning (EA=EP), gitt som andel av FC [-]	0.8 [0.2, 0.95]

Dynamiske variable			
Local name	Usage	Data type	Description
Inflow	Input	Valgbar	Regn og snøsmelting [mm]
PotEv	Input	Valgbar	Potensiell fordampning [mm/dag]
Snowcov	Input	Valgbar	Snødekningsgrad i andel [-]
Soilmoist	State	Valgbar	Markvannsmagasin [mm]
Outflow	Response	Valgbar	Drenering til grunnvann/respons [mm]
Evaporation	Response	Valgbar	Aktuell fordampning [mm]

2.2 Kalibrering:

Feltkapasiteten FC er ikke så interessant som absolutt magasin størrelse, men regulerer sammen med BETA hvor følsom andel tilbakeholdt vann er for fuktighetstilstand. Med alminnelige verdier er nok begge disse mer styrende for responskarakteristikk enn for vannbalanse, selv om en ved å velge lav FC og BETA godt under 1.0 kan oppnå at markfuktigheten ofte er lav og fordampningen derfor reduseres. En må regne med betydelig avhengighet mellom disse to parameterne, særlig dersom Nash-Sutcliffe R^2 veier tyngst i kalibreringen. LP er primært en vannbalanseparameter som har liten effekt når fuktigheten generelt ligger tett oppunder FC. Den har liten effekt på Nash-Sutcliffe R^2 . Det er fare for at kalibrering kan dra alle disse parameterne ut til svært urealistiske verdier som effekt av en vannbalansefeil i modellen; naturligvis avhengig av hvilke andre vannbalanse-regulerende parametre modellen har.

2.3 Bruk

HBVSoil har sammen med HBVResponse ett av de karakteristiske kjennetegnene ved HBV-modellen; antagelsen om at alt vann drenerer gjennom grunnen. Dermed spiller initiell fuktighet en stor rolle for hvordan et felt reagerer på et nedbørfelle. Motsatsen er modeller for områder med tett jord og høy nedbørintensitet, der magasin og respons har en mye svakere kobling. HBV har ingen representasjon av hortonsk overflateavrenning (nedbør større enn infiltrasjonskapasitet), heller ikke av overflateavrenning grunnet metning. Det finnes varianter av HBV som har disse, Enkis representasjon har det ikke.

Potensiell fordampning er i den klassiske HBV-modellen ofte angitt som månedsnormaler. Andre varianter har innført temperaturavhengighet i potensiell fordampning. Enkis implementasjon har ingen av disse, og krever potensiell fordampning EP som oppgitt inngangstidsserie.

For norske forhold og operativ bruk er det et spørsmål om fordampning og markvannsinhold er viktige nok som prosesser til å forsvare en modell med tre parametre. Det er en vanlig å anta at fordampning i det boreale klimabeltet bare unntaksvis er begrenset av vanntilgang, hvilket betyr at prosessen stort sett skjer ved full potensiell rate. Dermed blir markvannsmagasinet bare enda et kar i responsmodellen, og friheten i vannbalanseparameterne brukes for å rette opp andre feil enn varierende EA/EP-forhold.

2.4 Ligningsgrunnlag:

HBVSoil fordeler nedbør og snøsmelting mellom øvre sone og markvannssonen. Fordelingen er gitt ved:

$$Q_I = Q_S \left(\frac{SM}{FC} \right)^\beta$$

der Q_S (mm/døgn) er vann som skal infiltreres i bakken og Q_I (mm/døgn) er mengden vann som går til øvre sone. Denne ligningen kan omformuleres til integrasjonsform.

$$\frac{dQ_I}{dSM} = Q_S \frac{\beta SM^{\beta-1}}{FC^\beta} = \frac{\beta Q_S}{SM} \left(\frac{SM}{FC} \right)^\beta$$

som igjen kan omformuleres til å bli en funksjon av Q_I

$$\frac{dQ_I}{dSM} = \frac{\beta Q_S}{FC \left(\frac{Q_I}{Q_S} \right)^{1/\beta}} \left(\frac{FC \left(\frac{Q_I}{Q_S} \right)^{1/\beta}}{FC} \right)^\beta = \frac{\beta Q_I}{FC} \left(\frac{Q_S}{Q_I} \right)^{1/\beta} = Q_S^{1/\beta} \frac{\beta}{FC} Q_I^{1-1/\beta}$$

Vi kan da sette opp følgende differensialligning som skal integreres over tidsskrittet:

$$\frac{dQ_I}{dt} = \frac{dQ_I}{dSM} \frac{dSM}{dt} = \frac{dQ_u}{dh_u} (Q_S - Q_I)$$

Denne må løses numerisk. I Enkis HBVSoil er det brukt en 2. ordens Runge-Kutta numerisk integrator, men også andre eller høyere-ordens metoder kan benyttes. Generelt kan en velge enklere numerisk løsning dersom en har korte tidsskritt i modellen.

Notat

ENKI-rutiner: IDWPrec, IDWtemp, IDWrad

SAKSBEHANDLER / FORFATTER
Lena S Tøfte, Sjur Kolberg

BEHANDLING
UTTALELSE
ORIENTERING
ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
12x855

DATO
2015-05-23

GRADERING
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Invers-distanse-vektet interpolering; IDWprec, IDWtemp og IDWrad	3
2.1	Variabelgrensesnitt	3
2.2	Kalibrering:	4
2.3	Bruk:	4

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

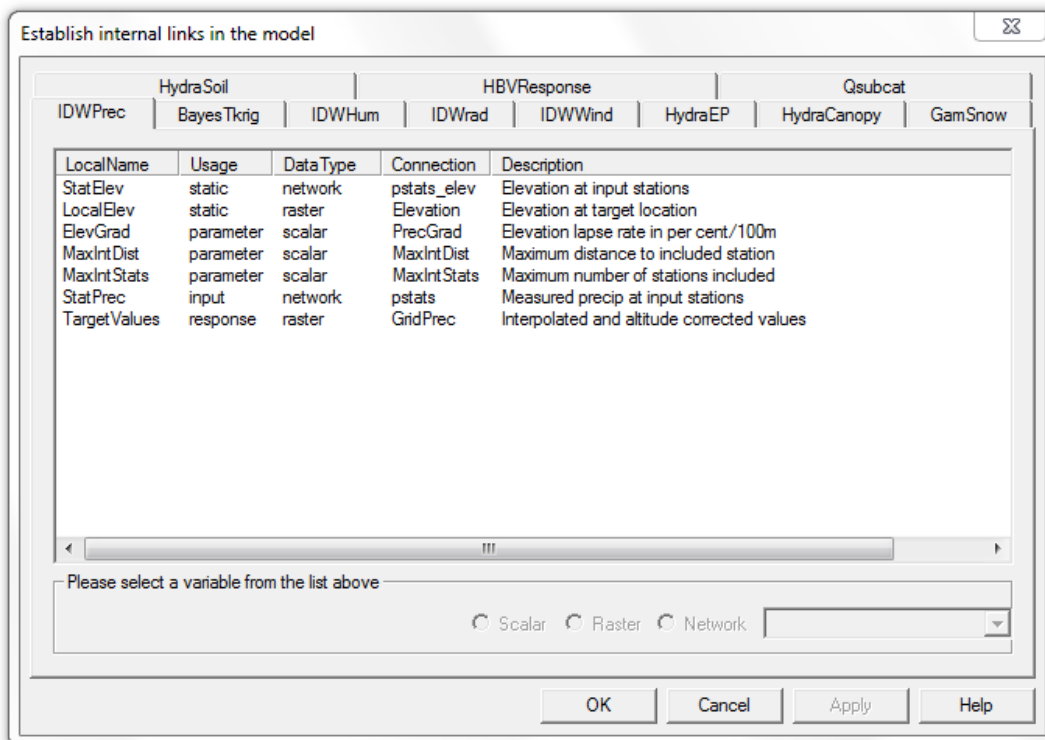
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjons høyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutineene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett, i dette tilfellet nedbørinterpoleringsrutina IDWprec.

2 Invers-distanse-vektet interpolering; IDWprec, IDWtemp og IDWrad

Inverse Distance Weighting (IDW) er en vanlig teknikk for å interpolere fra punktmålinger, der omkringliggende stasjoner får vekt som er omvendt proporsjonal med kvadrert distanse. Den vanligste anvendelsen er å interpolere fra punktobservasjoner til komplette rasterkart, men i Enkis implementasjon kan en både for inngangs- og utgangsdata velge mellom raster og nettverk. Dette muliggjør interpolering av feks prognosedata fra et grovt varslingsgitter til målestasjons-lokaliteter eller til nedbørfelt. Det siste krever at nedbørfeltene representeres som punkter, typisk tyngdepunktet i hvert felt-polygon.

IDW-teknikken er kjernen i tre Enki-rutiner; IDWprec, IDWtemp og IDWrad. Disse har i tillegg en mulighet for ekstern korreksjon, som er ulik for nedbør, temperatur og stråling. IDWprec og IDWtemp vil før interpolering normalisere stasjonsverdien til en referanse høyde, og etter interpolering korrigerer tilbake til faktisk terrenghøyde. I IDWprec er korreksjonen relativ (% pr 100m), i IDWtemp absolutt (°C pr. 100m). I IDWrad virker terrengkorreksjonen ved multiplikasjon etter interpolering, uten forutgående normalisering av stasjonsverdier (fordi strålingsobservasjoner alltid gjøres horisontalt).

Et spesialtilfelle oppstår dersom en velger samme geometri på inngangs- og utgangssiden. I utgangspunktet er dette en meningsløs interpolering, fordi nærmeste stasjon har avstand = 0, og en får trivielt bare de originale måleverdiene tilbake. Enkis IDW-rutiner vil i slike tilfeller gå over til kryssvalideringsmodus. Det vil si at en interpolerer til hver stasjonslokalitet fra naboene, men uten å bruke stasjonens egen verdi. Dette gir en måleserie ved hvert målested som om stasjonen ikke fantes, og er nyttig i evaluering av både metode og stasjonsnettverk, samt i kalibrering av de tre parametrene.

2.1 Variabelgrensesnitt

Nødvendig informasjon for rutinen er stasjonskart og høyde for alle målestasjonene som inngår i tillegg til selve nedbørtidsseriene, høydegradient eller kart over eksposisjonsindeks, og en definering av maksimal søkeradius og/eller maksimalt antall stasjoner som skal inngå i beregningene for hver rute.

Statistiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibreringsintervall
StatElev	Static	Valgbar	Terrenghøyde ved de enkelte inngangslokalitetene (nedbør-stasjons høyde)	Kalibreres ikke
LocalElev	Static	Valgbar	Terrenghøyde ved utgangslokaliteter (typisk raster-høydemodell)	Kalibreres ikke
TargetTop Index	Static	Valgbar	Korreksjonsfaktor for terrengeksposisjon for direkte stråling. Kun i IDWrad.	1 (hvis skalar).
ElevGrad	Parameter	Scalar	Høydegradient for nedbør [% / 100 m]. Høydegradient for temperatur [°C / 100 m].	0 [-10,10] -0.6 [-0.3, 1.2]
MaxIntDist	Parameter	Scalar	Største avstand til stasjoner som inkluderes i interpoleringen (samme lengde-enhet som i GIS-koordinatene). Må være så stor at alle lokaliteter har en stasjon innenfor avstanden.	$D_{max} \cdot [D_{min}, D_{max}]$.
MaxIntStats	Parameter	Scalar	Største antall stasjoner som skal inkluderes i interpoleringen. Verdier større enn antall stasjoner i regionen (N_{max}) trunkeres.	$N_{max} \cdot [0, N_{max}]$.

Dynamiske variable			
Local name	Usage	Data type	Description
StationValues	Input	Valgbar	Inngangsdata til rutina, vanligvis målt verdi fra stasjonene i den oppsatte regionen. Variabelen tilsvare netverket av stasjonene med data.
TargetValues	response	Valgbar	Interpolert og høyde/terreng-korrigert verdi i hver mål-lokalitet (gridrute eller nettverkspunkt)

2.2 Kalibrering:

Høydegradienten ElevGrad kan inkluderes i kalibreringa for IDWprec og IDWtemp, og er alltid en skalar. Dersom de fleste nedbørstasjonene står i lav høyde vil ElevGrad i IDWprec ha stor innvirkning på vannbalansen. Vær derfor oppmerksom på avhengighet og kompensasjon dersom også andre parametre i modellen kalibrerer vannbalanse. For IDWtemp gjelder tilsvarende, ElevGrad påvirker middeltemperaturen i feltet og dermed for eksempel smelteintensitet dersom T-stasjonene ikke har representativ høydefordeling.

TargetTopIndex i IDWrad er en skaleringsfaktor som skal ha verdien 1.0 for horisontale områder, høyere for sol-eksponert terreng, og lavere for skyggeskråninger. Den bør forhåndsregnes som kart, eventuelt unntas fra kalibrering (skalar med verdi=1.0) dersom slik korreksjon ikke er aktuell. Verdiområdet er sterkt skala-avhengig, med topografibeskrivelse med km-oppløsning vil de fleste ruter ligge i nærheten av 1.0. For simulering med timesoppløsning er effekten diskutabel, siden sol-eksponisjon varierer sterkt gjennom døgnet.

2.3 Bruk:

IDW-interpolering er rask både i initialisering og under kjøring. Stasjonsvektene beregnes under initialiseringen, og er de samme for alle tidsskritt. Manglende input-verdier håndteres ved å ignorere den aktuelle stasjonen, samt skalere opp vektene på øvrige stasjoner slik at summen av vektene alltid er 1. Denne korreksjonen vil ikke kompensere for klimatiske egenskaper ved hver enkelt stasjon, dermed vil for eksempel utfall av en tradisjonelt nedbørrik stasjon forventningsmessig resultere i for lav nedbør. Dersom alle stasjoner innenfor MaxIntStats og MaxIntDist fra en gitt mål-lokalitet mangler verdi, vil verdien fra forrige tidsskritt kopieres, slik at IDW-rutinen ikke sender fra seg en missing-kode.

Sammenlignet med geostatistiske metoder legger IDW stor vekt på nærmeste nabo, og vil ofte resultere i et kart der stasjonenes lokalisering synes svært tydelig i den interpolerte flaten. I tillegg vil en (når det interpoleres til et raster) ofte se tydelige grenser dersom MaxIntDist eller MaxIntStats begrenser influensområdet til en stasjon. Disse artefaktene er uelegante ved visualisering, men det er ikke gjort undersøkelser av hvor alvorlig feilen er. Like viktig er det å være oppmerksom på at IDW bare ser på avstand, ikke retning, og dermed kan legge mest vekt på to eller tre stasjoner som alle ligger på samme side av den lokaliteten det interpoleres til.

Notat

ENKI-rutiner: Kirchner_Response

SAKSBEHANDLER / FORFATTER

Kolbjørn Engeland, Yisak S. Abdella, Lena S Tøfte, Sjur Kolberg

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR

Skriv Prosjektnr / sak nr

DATO

2013-05-23

GRADERING

Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	KirchnerMod.....	3
2.1	Grensesnitt	4
2.2	Kalibrering:.....	4
2.3	Ligningsgrunnlag og teoretisk bakgrunn	5
3	References.....	5

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

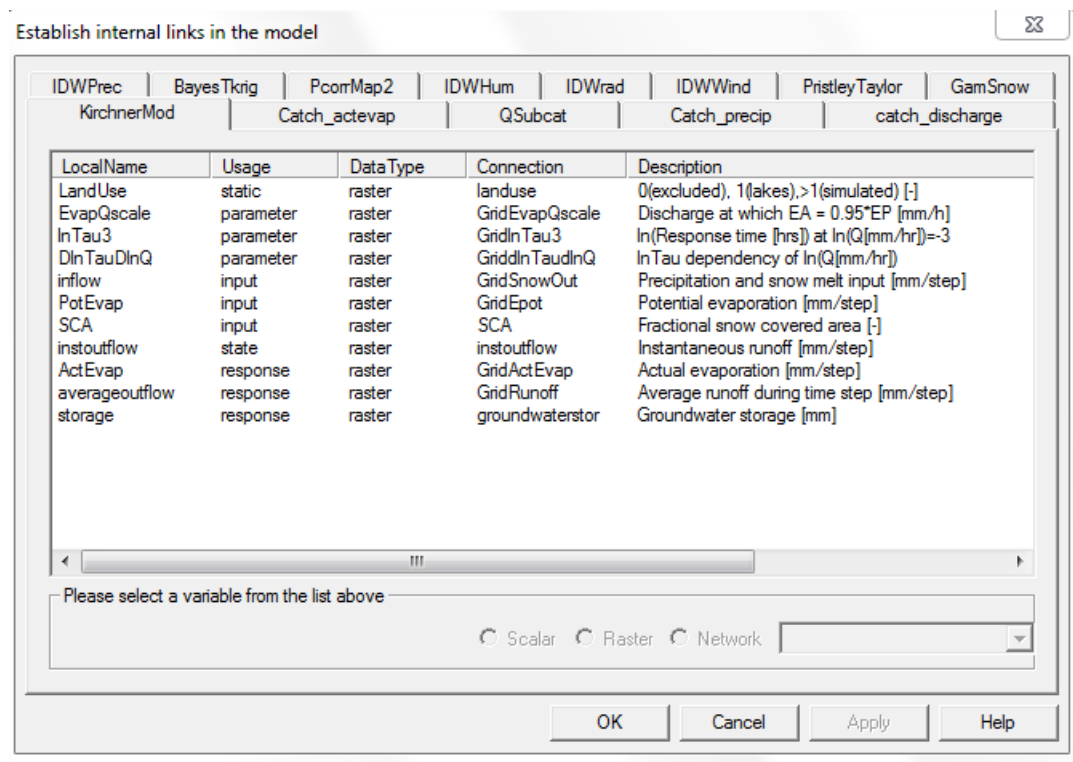
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjons høyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutinene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for Kirchner-responsrutina

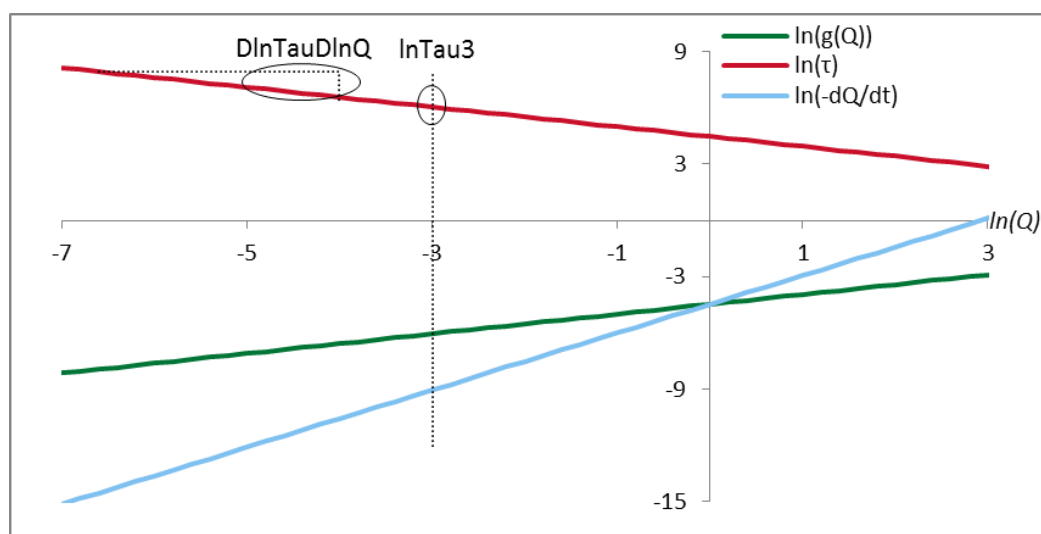
2 KirchnerMod

Enkis KirchnerMod-rutine implementerer en responsrutine basert på James Kirchners artikkel i WRR i 2009. Artikkelen beskriver ikke en spesifikk modell, men en gruppe av responsmodeller som bare har én tilstandsvariabel. Slike modeller har ikke bare en entydig funksjonssammenheng mellom vannføring Q og tilstand S (responsfunksjon), men også mellom Q og reduksjonen dQ/dt når systemet er uten påtrykk ($P-Ea=0$). Dermed kan modellen formuleres slik at avrenningen Q er identisk med tilstandsvariabelen, og oppdatering er trivielt dersom avrenningen er kjent. Dertil kan parameterne i funksjonssammenhengene estimeres fra målt hydrogram alene, basert på en resesjonsanalyse av situasjoner der påtrykket (nedbør minus fordampning) er neglisjerbart.

Kirchner (2009) bruker et andregradsuttrykk for responsfunksjonen, altså med tre koeffisienter. Analyser under uttesting viste sterk avhengighet mellom de tre, og i Enkis implementasjon er andregradsleddet derfor fjernet. I tillegg er de øvrige to transformert til tilnærmet uavhengighet, slik at de er individuelt identifiserbare under tradisjonell kalibrering. Dette gir $\ln\tau_3$ en tolkning som den naturlige logaritmen til feltets integrasjonstid τ [timer] ved en vannføring Q på ca 0.05 mm/t ($\ln(Q) = -3$). Dette er i samme størrelsesorden som medianvannføringen i de fleste norske nedbørfelt. $D\ln\tau/D\ln Q$ angir hvor fort $\ln(\tau)$ øker med $\ln(Q)$, og er i praksis alltid negativ (verdien 0 gir et lineært kar).

Figur 2 illustrerer hvordan resesjonskarakteristikken $\ln(-dQ/dt)$, responsfunksjonen $\ln(g(Q))$ og logaritmen av integrasjonstiden $\ln(\tau)$ varierer med $\ln(Q)$. For et lineært kar ville $\ln(g(Q))$ og $\ln(\tau)$ være konstante, med integrasjonstiden τ som feltets tidskonstant. Naturlige felt responderer hurtigere under flom; integrasjonstiden τ minker altså med økende vannføring. Stiplede linjer illustrerer Enkis parametre der konstantleddet $\ln\tau_3$ er definert som $\ln(\tau)$ -verdien for $\ln(Q)=-3$ og ikke for $\ln(Q)=0$. De to parameterne kan estimeres direkte ved resesjonsanalyse, uten annen bruk av nedbør- og fordampningsdata enn å identifisere perioder der netto påtrykk er nær 0. Slik analyse av vannføringsdata gjøres vanligvis ved $\ln(-dQ/dt)$ vs $\ln(Q)$, altså rundt den lyseblå linja i figur 2.

Det er verdt å merke seg at Enki i en griddet modell anvender disse parameterne i hver gridrute. Direkte estimering kan bare gjøres for delfelt, og tradisjonell kalibrering gir heller ikke noe grunnlag for å fordele parameterverdier mellom gridruter. Feltstørrelsens, elvenettets og eventuelle innsjøers påvirkning på responsen blir derfor innbakt som egenskaper ved gridrutene, uten at dette er realistisk.



Figur 2: Teoretiske kurver for $\ln(-dQ/dt)$, $\ln(g(Q))$ og $\ln(\tau)$ som funksjon av $\ln(Q)$. Positive verdier for $\ln(Q)$ er flomvannføring over 1 mm/hr, som sjelden opptrer annet enn i små felt. De tre funksjonene er transformasjoner av hverandre. I Enkis implementasjon er funksjonene lineære; det er ikke nødvendig iht teorigrunnlaget i Kirchner (2009).

I tillegg til responsfunksjonen inneholder Enkis KirchnerMod en enkel beregning av aktuell fordampning ut fra potensiell fordampning og fuktighetstilstand (Q). Denne skiller seg fra fordampningsberegningen i Kirchners artikkel, der skaleringen fra potensiell til aktuell fordampning er en konstant, altså uavhengig av fuktighetstilstand. Merk også skillet mellom *Averageoutflow*, som er gjennomsnittlig avløp gjennom tidsskrittet, og *Instoutflow*, som angir momentant avløp ved slutten av tidsskrittet. Den første av disse inngår i vannbalansen, mens den siste representerer tilstanden.

2.1 Grensesnitt

Statistiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibreringsintervall
Landuse	Static	Valgbar	Arealtype: Landoverflate (>1), åpent vann (1) og ekskludert område (0). [-]	{2,1,0} fra kart. Kan ignoreres (2).
EvapQscale	Parameter	Valgbar	Følsomhet for fuktighet i aktuell fordampning, gitt som vannføring (Q) der $E_a = 0.95 * E_p$ [mm/h]	0.05 [0.01, 0.2]
lnTau3	Parameter	Valgbar	$\ln(\tau)$ når $\ln(Q) = -3$, der Q er avrenning i mm/t, og τ er integrasjonstid i timer [-]	5.0 [2.0, 6.0]
DlnTauDlnQ	Parameter	Valgbar	Grad av ikkelinearitet; følsomhet i $\ln(\tau)$ som funksjon av $\ln(Q)$ [-]	-0.5 [-2.0, 0.0]

Dynamiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	
Inflow	Input	Valgbar	Nedbør og snøsmelting [mm/tid] (tid = tidsskritt lengde)	
PotEvap	Input	Valgbar	Potensiell fordampning [mm/tid]	
SCA	Input	Valgbar	Andel snødekt areal [-]	
Instoutflow	State	Valgbar	Momentan avrenning ved slutten av tidsskrittet [mm/tid]	
ActEvap	Response	Valgbar	Reell fordampning [mm/tid]	
Averageoutflow	Response	Valgbar	Gjennomsnittlig avrenning gjennom tidsskrittet [mm/tid]	
storage	Response	Valgbar	Grunnvannsmagasin [mm]	

2.2 Kalibrering:

Enkis parametrisering av responsfunksjonen gjør de to parameterne mer eller mindre uavhengige, så med alminnelig gode kalibreringsdata skal en normalt kunne kalibrere både lnTau3 og DlnTauDlnQ simultant. EvapQscale kan også kalibreres dersom dette er den eneste vannbalanseparameteren i modellen, eller dersom en har gode data, helst på timesnivå.

2.3 Ligningsgrunnlag og teoretisk bakgrunn

Responsrutinen er basert på en massebalanseligning gitt ved

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ}{dS} \frac{dS}{dt} = \frac{dQ}{dS} (P - E - Q) \quad (1)$$

der Q er avrenning, S er magasin, P nedbør, E er aktuell fordampning og t er tid. Siden modellen bare har én tilstandsvariabel har S en entydig sammenheng med Q :

$$g(Q) = \frac{dQ}{dS} \quad (2)$$

Denne sammenhengen er karakteristisk for feltets respons, og responsrutinen kan formuleres som:

$$\frac{dQ}{dt} = Q'(Q) = g(Q)(P - E - Q) \quad (3)$$

Beregning av vannføring skjer ved å integrere (3) ved bruk av en egnet numerisk algoritme, for eksempel Bogacki-Shampine eller Runge-Kutta. Enki anvender en 4-ordens Runge-Kutta. Sammenhengen mellom tilstand S og avrenning Q estimeres ved å invertere ligning 2 og integrere over Q :

$$S(Q) = \int dS = \int \frac{1}{g(Q)} dQ \quad (8)$$

Spesielt for rutiner med bare en tilstandsvariabel er at parameterne kan estimeres direkte fra målte hydrogrammer. Sensitivitetsfunksjonen $g(Q)$ kan tilpasses basert på resesjonsplott av $(-dQ/dt)$ som en funksjon av Q . Datagrunnlaget må på forhånd være redusert til situasjoner der nedbør og fordampning er nglisjerbare. Det henvises til Kirchner (2009) for en utførlig diskusjon rundt denne teknikken.

3 References

Kirchner (2009) Catchment as simple dynamic systems: Catchment characterization, rainfall-runoff modeling and doing hydrology backward, Water Resources Research Vol 45 doi: 10.1029/2008WR006912

Notat

ENKI-rutine: Kriging

SAKSBEHANDLER / FORFATTER
Sjur Kolberg

BEHANDLING
UTTALELSE
ORIENTERING
ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge
Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet
www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
Skriv Prosjektnr / sak nr

DATO
2013-05-23

GRADERING
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Geostatistisk interpolering: Kriging	3
2.1	Variabel-grensesnitt	3
2.2	Kalibrering:	4
2.3	Bruk:	4

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

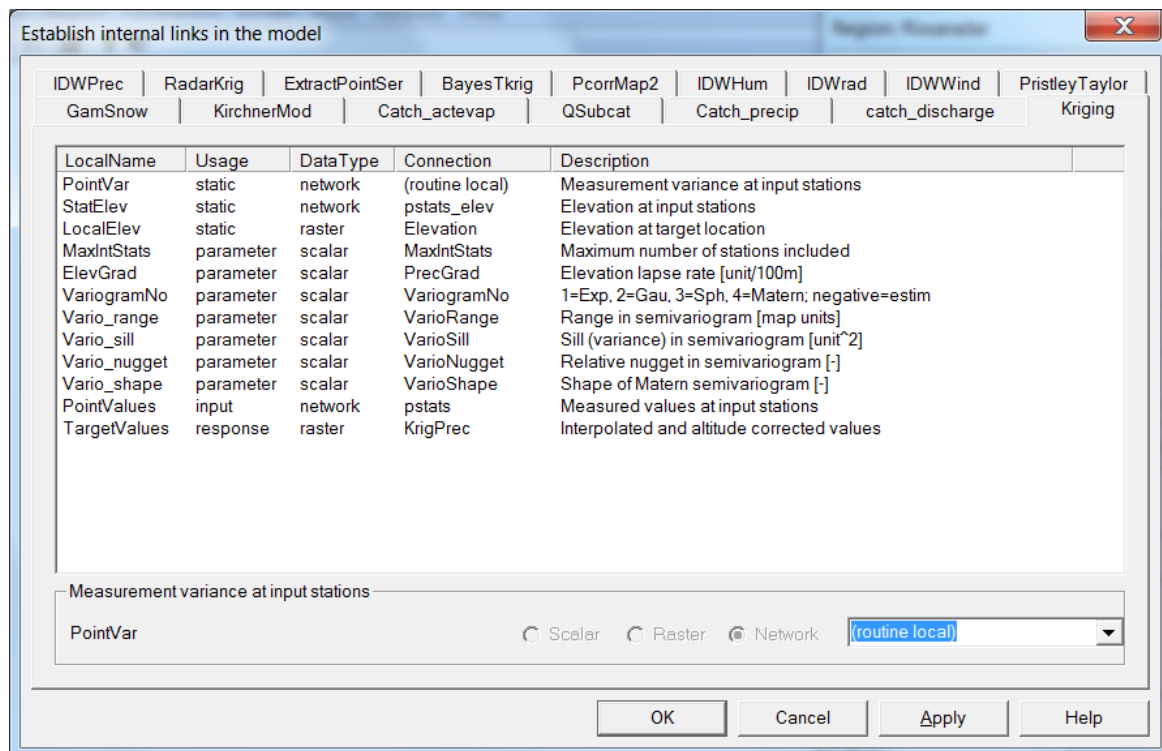
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjons høyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutineene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for Kriging-rutina.

2 Geostatistisk interpolering: Kriging

Kriging er en klassisk teknikk for å interpolere fra punktmålinger til et sett av mål-lokaliteter, ofte spesifisert som et rasterkart. På samme måte som IDW hører Kriging til en familie av interpolerings-algoritmer der hver mål-verdi beregnes som en lineærkombinasjon av input-verdiene. Mer presist er Kriging navnet på algoritmen som bestemmer vektene i denne lineærkombinasjonen.

Kriging estimerer disse vektene ut fra to kovariansmatriser, den ene mellom stasjonslokalitetene innbyrdes, den andre mellom stasjonslokaliteter og mål-lokaliteter. Disse kovariansmatrisene bestemmes i sin tur ut fra avstand. Sammenhengen mellom avstand og kovarians er gitt i et *semivariogram* som er felles for hele regionen. Det finnes ugyldige kombinasjoner av kovarians-verdier mellom et sett av lokaliteter, semivariogrammet er derfor gitt som en parametrisk modell med bestemte egenskaper, slik at ligningssettet blir konsistent. Enki-implementasjonen av kriging tilbyr fire slike semivariogram-modeller.

Enkis Kriging-rutine har også en enkel høydekorreksjon, og en valgfri mulighet til å spesifisere stasjonsspesifikk usikkerhet slik at mer vekt legges på stasjoner med antatt bedre datakvalitet. Nødvendig informasjon for rutinen er stasjonskart og høydeinformasjon for alle målestasjonene som inngår, i tillegg til selve nedbørtidsseriene samt en del parametre som er beskrevet under avsnittet om kalibrering.

2.1 Variabel-grensesnitt

Statistiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibrerings-intervall
PointVar	Static	Nettverk	Måleusikkerhet ved stasjonene Vilkårlig variabel og enhet	Kalibreres ikke
StatElev	Static	Nettverk	Stasjonshøyde over havet [m]	Kalibreres ikke
LocalElev	Static	Valgbar	Høyde over havet for de lokalitetene det interpoleres til [m]	Kalibreres ikke
MaxIntStats	Parameter	Skalar	Største antall nabostasjoner som skal inkluderes i interpoleringen [-]	N_{max} . [0, N_{max}].
ElevGrad	Parameter	Skalar	Høydegradient [unit/100m]	Avh. av variabel
VariogramNo	Parameter	Skalar	Nummer. 1=Ekspensiell, 2= Gaussisk, 3=Sfærisk, 4=Matern. Negativt nummer gjør at parametre estimeres løpende.	1 {-4, ..., -1} {1, ..., 4}
Vario_range	Parameter	Skalar	Range i semivariogrammet [kartenhet]	[10km, 100 km]
Vario_sill	Parameter	Skalar	Sill (maksvarians) i semivariogrammet [data-enhet ^2]	Avh. av variabel
Vario_nugget	Parameter	Skalar	Relativ nugget (andel av Sill) [-]	0.1 [0.02, 0.7]
Vario_shape	Parameter	Skalar	Shape-parameter i Matern semivariogram	1.5 [1.0, 2.0]

Dynamiske variable			
Local name	Usage	Data type	Description
StationValues	Input	Valgbar	Inngangsdata til rutina, vanligvis målte verdier fra stasjonene i den oppsatte regionen.
TargetValues	response	Valgbar	Interpolert og høyde/terreng-korrigert verdi i hver mål-lokalitet (gridrute eller nettverkspunkt)

2.2 Kalibrering:

Kriging-rutina har mange parametre, og en kan ikke regne med at alle blir tilfredsstillende identifisert basert på datamaterialet i tradisjonell hydrologisk modellkalibrering. Fordi Kriging er en generell rutine for vilkårlige variable, er det vanskelig å angi gode parameterverdier eller kalibreringsintervaller. Det kan anbefales å kjøre separate kalibreringer av Kriging-rutinen alene, satt opp i kryssvaliderings-modus (se under) for å estimere parametre frikoblet fra resten av modellen. MaxIntStats kan ofte settes til et høyt tall (og dermed uvirksom), med mindre en har delområder med høyere stasjonstetthet enn ellers, der en ønsker en mer detaljert flate. En lav grense for MaxIntStats kan føre til tydelige grenser i det interpolerte kartet ettersom stasjoner faller innenfor og utenfor nabolista.

De fleste parameterne regulerer semivariogram-modellen, som bestemmer sammenhengen mellom avstand og kovarians og dermed hvor sterkt interpoleringen skal legge vekt på nærhet. Av disse er Range og Nugget de viktigste parameterne. Det anbefales å starte med eksponensielt semivariogram, og en range som er markert større enn en typisk avstand mellom to nabostasjoner. Sill kan som utgangspunkt settes som den romlige variansen ved et typisk tidsskritt. Nugget beskriver den romlige variansen over avstander som er mindre enn det stasjonsnettet fanger opp, og skal forstås som en andel av Sill. Særlig for variable med sterk romlig variasjon i forhold til stasjonstettheten (som for eksempel nedbør) kan nugget ofte ligge på over 0.5. Shape er bare virksom for Matern semivariogram, som bare anbefales brukt i spesielle situasjoner med mye data.

Negative verdier for variogramnummer betyr det samme som de respektive positive, men at parameterne estimeres fra observasjonene for hvert tidsskritt. Dette vil bare fungere med et betydelig antall stasjoner (>25), og i tillegg for nedbør at minst 15 stasjoner observerer positiv nedbør. Daglig estimering av semivariogram for nedbør gir svært ustabile estimater og anbefales ikke.

2.3 Bruk:

Høydekorreksjonen i Kriging-rutinen vil før interpolering normalisere stasjonsverdien til en referanse-høyde, og etter interpolering korrigerer tilbake til faktisk terrenghøyde. Høydegradienten det korrigeres med er i absolutte mål (enhet / 100 m), ikke i prosent slik det for eksempel er vanlig for nedbør.

Et spesialtilfelle oppstår dersom en velger samme geometri på inngangs- og utgangssiden. Da vil nærmeste stasjon ha avstand = 0, og en får trivielt bare de originale måleverdiene tilbake. Enkis Kriging-rutiner vil i slike tilfeller gå over til kryssvalideringsmodus. Det vil si at en interpolerer til hver stasjonslokalisitet fra naboeene, men uten å bruke stasjonens egen verdi. Dette gir en måleserie ved hvert målested som om stasjonen ikke fantes, og er nyttig i evaluering av både metode og stasjonsnettverk. Det kan anbefales å kalibrere en modell bestående av bare Kriging i kryssvaliderings-modus, for å bestemme Kriging-parameterverdiene separat for hver enkelt interpolerte variabel, og uavhengig av den øvrige modellen.

Selv om Kriging i likhet med IDW beregner stasjonsvekter i en lineær kombinasjon, har Kriging et stort fortrinn ved å ta hensyn til kovarians mellom stasjoner. I tilfeller med stasjonsklynger, eller for mål-lokaliteter der de 3-4 nærmeste nabostasjonene alle ligger i samme retning, vil Kriging dempe ned de stasjonene som repeterer informasjon, mens IDW ikke gjør det.

Notat

ENKI-rutine: KrigOroPrec

SAKSBEHANDLER / FORFATTER
Sjur Kolberg

BEHANDLING
UTTALELSE
ORIENTERING
ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge
Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet
www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
502000660

DATO
2016-03-03

GRADERING
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Geostatistisk interpolering: Kriging	3
2.1	Variabel-grensesnitt	3
2.2	Kalibrering:	4
2.3	Bruk:	4

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

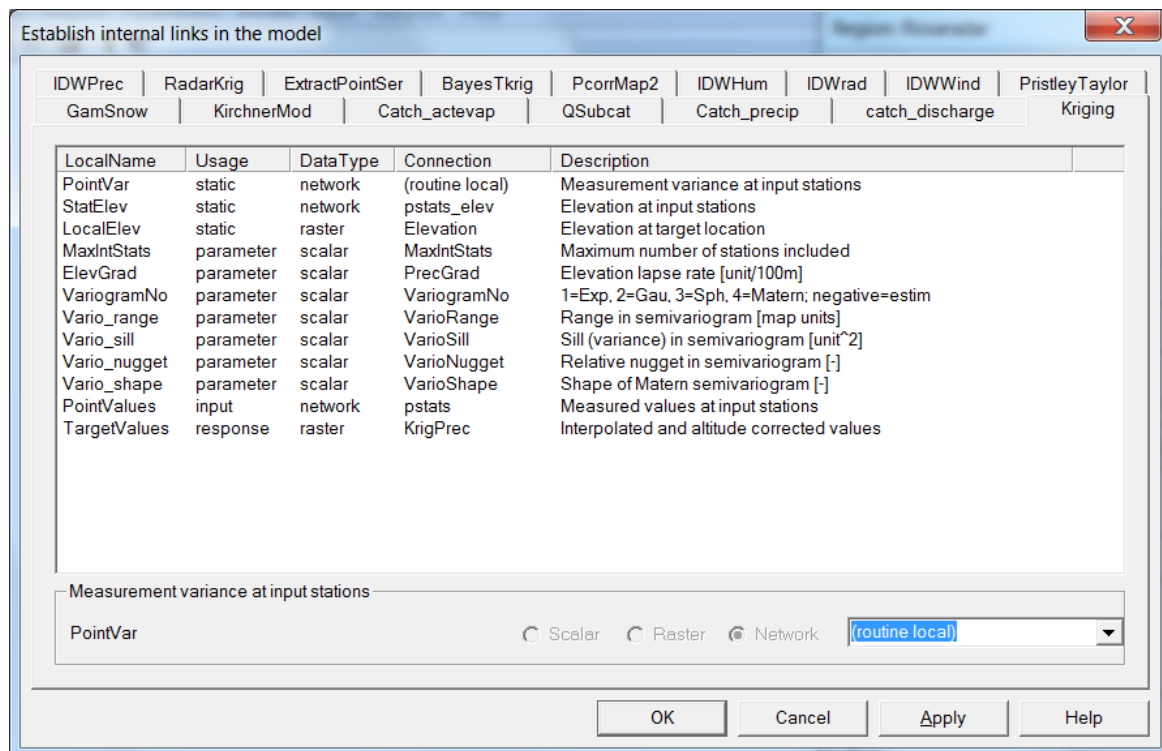
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjons høyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutineene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for Kriging-rutina.

2 Orografisk forsterkning som korreksjon i nedbørinterpolering: KrigOroPrec

KrigOroPrec utfører interpolasjon og orografisk korreksjon av nedbør. Orografikorreksjonen er basert på Smith og Barstads (2004) lineære modell. Enkis implementasjon i KrigOroPrec er skrevet for å erstatte høydegradienten som ofte benyttes i interpolering/nedskalering av nedbør.

Kriging er en klassisk teknikk for å interpolere fra punktmålinger til et sett av mål-lokaliteter, ofte spesifisert som et rasterkart. Algoritmen er beskrevet i dokumentasjonen av Enkis generelle Kriging-rutine. Kriging estimerer stasjonsvekter for hver mål-lokalitet ut fra avstands-avhengig kovarians, både mellom mål-lokaliteten og hver målestasjon, og mellom målestasjonene innbyrdes. Sammenhengen mellom avstand og kovarians er gitt i et *semivariogram* som er felles for hele regionen.

Nødvendig statistisk informasjon er stasjonskart over nedbørmålerne. I tillegg til selve nedbørtidsseriene krever rutinen dynamisk meteorologisk input (romlige middelerverdier) for å drive orografimodellen.

2.1 Variabel-grensesnitt

Statistiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibrerings-intervall
LocalElev	Static	Nettverk	Terrenghøydemodell (DEM) [m]	Kalibreres ikke
TauC	Parameter	Skalar	Tidsskala for hydrometeor-vekst [s]	700 [300,1500]
MaxIntStats	Parameter	Skalar	Største antall nabostasjoner som skal inkluderes i interpoleringen [-]	N_{max} . [0, N_{max}].
VariogramNo	Parameter	Skalar	Nummer. 1=Ekspensiell, 2= Gaussisk, 3=Sfærisk, 4=Matern. Negativt nummer gjør at parametre estimeres løpende.	1 {-4,...,-1}{1,...,4}
Vario_range	Parameter	Skalar	Range i semivariogrammet [kartenhet]	[10km, 100 km]
Vario_sill	Parameter	Skalar	Sill (maksvarians) i semivariogrammet [data-enhet ^2]	100 [10, 1000]
Vario_nugget	Parameter	Skalar	Relativ nugget (andel av Sill) [-]	0.1 [0.02, 0.7]
Vario_shape	Parameter	Skalar	Shape-parameter i Matern semivariogram	1.5 [1.0, 2.0]

Dynamiske variable			
Local name	Usage	Data type	Description
StatPrec	Input	Valgbar	Målt stasjonsnedbør som skal interpoleres [mm]
GridTemp	Input	Raster	Lokal lufttemperatur [°C]
RHum	Input	Valgbar	Relativ luftfuktighet [%]
WindU	Input	Valgbar	Øst-komponent i vindens hastighetsvektor [m/s]
WindV	Input	Valgbar	Nord-komponent i vindens hastighetsvektor [m/s]
Stability	Response	Skalar	Estimert atmosfærisk stabilitet [-]
OroPrec	Response	Raster	Orografisk nedbørstillegg [mm/step]
LocalPrec	Response	Valgbar	Orografikorrigert interpolert nedbør [mm]
OroCorr	Response	Skalar	Romlig korrelasjon OroPrec vs StatPrec [-]
AvgU	Response	Skalar	Estimert øst-komponent i vindhastighet. Kan utelates. [m/s]
AvgV	Response	Skalar	Estimert nord-komponent i vindhastighet. Kan utelates. [m/s]

2.2 Kalibrering:

KrigOroPrec er en overbygning over Enkis generelle Kriging-rutine. Orografimodellen innfører en del nye inputvariable, men bare én parameter (TauC). Dette er en tidskonstant for hvor lang tid det tar fra kondensasjon inntreffer til regndråper eller snøpartikler med en viss terminalhastighet er formet. Vurdert etter effekten på simulert output er ikke modellen veldig følsom for denne.

Det er Kriging-interpolatoren som står for de fleste parameterne. Nedbør er en av de vanskeligste variablene å spesifisere interpolasjonsparametre for, og en kan ikke regne med at alle parameterne blir tilfredsstillende identifisert basert på datamaterialet i tradisjonell hydrologisk modellkalibrering. Det kan anbefales å kjøre separate kalibreringer av KrigOroPrec alene, satt opp i kryssvaliderings-modus (se under) for å estimere parametre frikoblet fra resten av hydrologimodellen. MaxIntStats kan ofte settes til et høyt tall (og dermed uvirksom), med mindre en har delområder med høyere stasjonstetthet enn ellers, der en ønsker en mer detaljert flate. En lav grense for MaxIntStats kan føre til tydelige grenser i det interpolerte kartet ettersom stasjoner faller innenfor og utenfor nabolista.

Av semivariogram-parameterne er Range og Nugget de viktigste parameterne. Det anbefales å starte med eksponensielt semivariogram, og en range som er markert større enn en typisk avstand mellom to nabostasjoner. Sill kan som utgangspunkt settes som den romlige variansen ved et typisk tidsskritt. Nugget beskriver den romlige variansen over avstander som er mindre enn det stasjonsnettet fanger opp, og skal forstås som en andel av Sill. For nedbør-døgnverdier i norsk fjellterreng kan nugget ofte ligge på over 0.5; for timesverdier trolig enda høyere. Shape er bare virksom for Matern semivariogram, og anbefales bare brukt i spesielle situasjoner med mye data.

Negative verdier for variogramnummer betyr det samme som de respektive positive, men at parameterne estimeres fra observasjonene for hvert tidsskritt. Dette vil bare fungere med et betydelig antall stasjoner (>25), og bare for tidspunkter da minst 15 stasjoner observerer positiv nedbør. Daglig estimering av semivariogram for nedbør gir svært ustabile estimater og anbefales bare i spesielle situasjoner med mye data.

2.3 Bruk:

Orografimodellen til Smith og Barstad (2004) simulerer den romlige fordeling av orografisk forsterket nedbør. Råverdiene ut fra modellen kan være både positive og negative, og skal tolkes som en korreksjon av bakgrunnsnedbør før verdiene trunkeres til ikkenegativ nedbør.

Viktigste input er atmosfærens fuktighetsfluks, gitt ved vindvektor, temperatur og $-$ gradient, samt en antagelse om mettet atmosfære. Disse inngangsvariablene er romlig homogene; i den grad fordelte inngangsvariable er tilgjengelige vil gjennomsnitt benyttes. For praktiske formål er antagelsen om metning formulert som en betingelse om minimum 80% luftfuktighet i bakkenivå, for at orografimodulen skal kobles inn. Optimalt skulle disse inngangsdataene være integrert over hele atmosfærekolonnen opp til der fuktighetsinnholdet flater ut, i praksis er dette løst ved antagelser om jevn temperatur-høydegradient og stabil atmosfære. I mangel på målte data i atmosfærekolonnen er temperaturgradienten estimert ut fra temperaturkartets høydeavhengighet. Dette er altså temperatur i instrumenthøyde (2m), og en lang fra ideell estimator for gradienten i fri atmosfære.

I tillegg til driver-variablene for orografimodellen benytter KrigOroPrec målt nedbør (StatPrec) som input, og i interpolert form som estimator for den bakgrunnsnedbøren som legges til orografisignalet før trunkering. Den simulerte variabelen LocalPrec har derfor to kilder til romlig variasjon; måleverdiene i StatPrec og orografisignalet i OroPrec.

Det er mulig å operere KrigOroPrec uten vinddata inn. Det gjøres ved å velge *Routine local* som variabelforbindelse for WindU og WindV. KrigOroPrec har et antall forhåndsgenererte orografi-kart simulert med ulike vindvektorer, og vil sammenligne hvert av disse med stasjonsnedbør-dataene. Vindvektoren for det beste av disse kartene velges, og de tilsvarende hastighetskomponentene leveres til utgangsvariablene AvgU og AvgV. Dersom WindU og WindV kobles mot virkelige data vil AvgU og AvgV inneholde det romlige gjennomsnittet som orografimodellen bruker. Hvis WindU og WindV er fra ett enkelt punkt eller en skalar, er AvgU og AvgV trivielle kopier.

Som de øvrige av Enkis interpolasjonsrutiner kan KrigOroPrec kjøres i kryssvalideringsmodus, ved å velge samme geometri på inngangs- og utgangssiden. Da vil hver mål-lokalitet ignorere nærmeste stasjon, som har samme posisjon og avstand = 0. En interpolerer dermed til hver stasjonslokalitet fra naboene uten å bruke stasjonens egen verdi. Dette gir en måleserie ved hvert målested som om stasjonen ikke fantes, og er nyttig i evaluering av både metode og stasjonsnettverk. Det kan anbefales å kalibrere en modell bestående av bare Kriging i kryssvaliderings-modus, for å bestemme Kriging-parameterverdiene separat for hver enkelt interpolerte variabel, og uavhengig av den øvrige modellen.

I KrigOroPrec-rutinen er orografi-effekten tenkt å simulere høydeavhengighet, og muligheten for uavhengig høydekorreksjon er derfor tatt ut.

For fullstendig dokumentasjon av ligningssettet i KrigOroPrec henvises til Smith og Barstad (2004). Kort beskrevet gjør rutina en Fourier-transformasjon av terrenget til et todimensjonalt bølgetall-rom. Her gjøres selve modellberegningene, som involverer beregning av bølgetallsfordeling i vindretningen, dynamikk, samt forsinkelse i nedbørutfelling og vertikal transport. Resultatet transformeres tilbake til kartesiske koordinater, legges til bakgrunnsnedbøren, og trunkeres ved 0.

Notat

ENKI-rutine: LeafAreaIndex

SAKSBEHANDLER / FORFATTER

Kolbjørn Engeland, Sjur Kolberg

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
12x855**DATO**
2016-02-23**GRADERING**
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Simulering av dynamisk blandarealindeks: LeafAreaIndex	3
2.1	Variabelgrensesnitt	3
2.2	Kalibrering:	3
2.3	Bruk:	4
3	Referanser	5

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

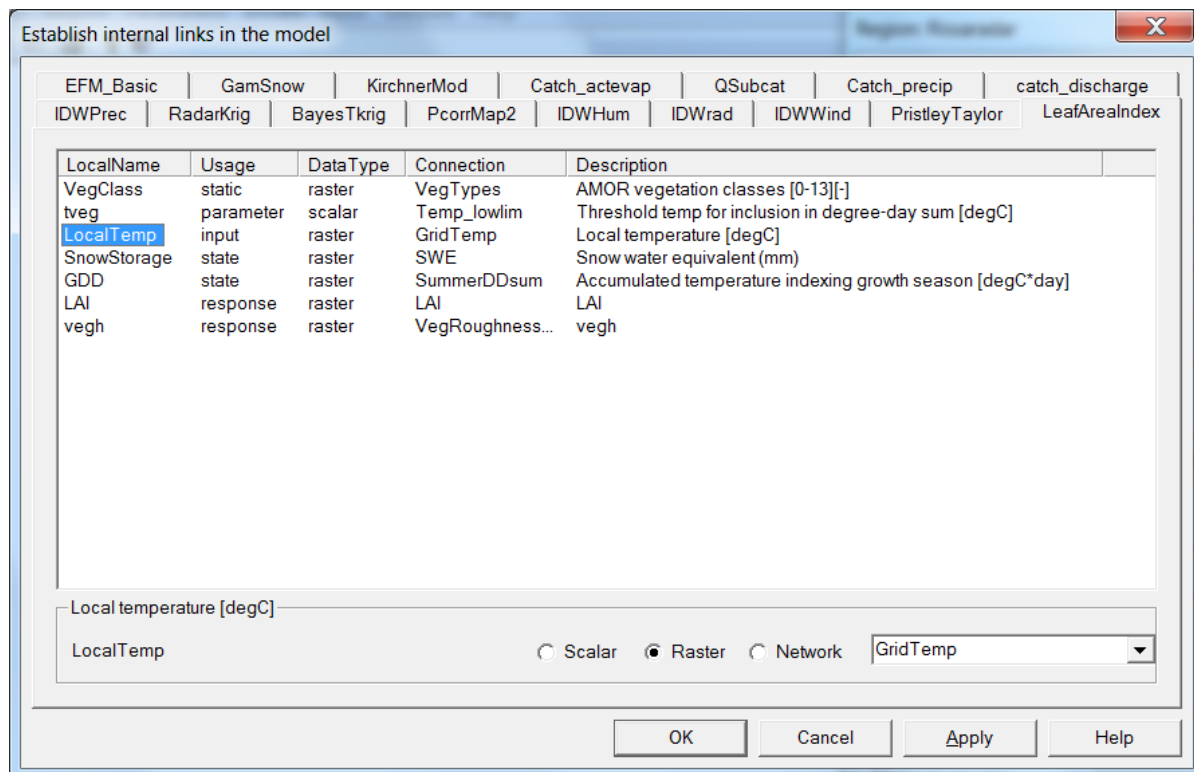
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjonshøyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutinene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for LeafAreaIndex

2 Simulering av dynamisk blandarealindeks: LeafAreaIndex

Flere prosesser knyttet til fordampning, strålingsbalanse og snø er avhengig av vegetasjonstilstand og bladarealindeks. Enki-rutinen LeafAreaIndex simulerer bladarealindeks og vegetasjonshøyde for ulike vegetasjonsklasser som en funksjon av sesongutvikling gitt ved graddagssum.

Nødvendig informasjon for rutinen er kart over vegetasjonstype. Vegetasjonsklassifiseringen har en del tabellverdier som er hardkodet i implementasjonen, og klassene er ikke spesielt godt tilpasset norske vegetasjons- og avlingstyper. Dynamisk input er lufttemperatur.

2.1 Variabelgrensesnitt

Statistiske variable				
Variabel	Variabel - type	Data type	Beskrivelse	Foreslått verdi og kalibreringsintervall
VegClasses	Static	Valgbar	Vegetasjonsklasser som definert i AMOR [-]	Kalibreres ikke. 0-13 etter liste.
Tveg	Parameter	Scalar	Terskeltemperatur for inkludering i graddagssum [°C]	5.0 [0.0, 10.0]

Dynamiske variable				
Variabel	Variabel-type	Data type	Beskrivelse	
LocalTemp	Input	Valgbar	Lokal lufttemperatur [°C]	
Snow storage	State	Valgbar	Vannekvivalent i snømagasinet [mm]	
GDD	State	Valgbar	Akkumulert graddagssum som indeks for sesongutvikling [°C]	
LAI	Response	Valgbar	Bladarealindeks (Leaf Area Index LAI) [-]	
Vegh	Response	Valgbar	Vegetasjonshøyde; indeks for terrengruhet. Har sesongvariasjon for noen av vegetasjonsklassene. [m]	

2.2 Kalibrering:

Den eneste kalibreringskonstanten i LeafAreaIndex er terskeltemperaturen Tveg. Denne er felles for alle vegetasjonsklassene, og bestemmer hvor høy døgnmiddeltemperaturen må være for å bidra til graddagssummen. En typisk verdi som brukes i Norge er 5°C. Ut over dette har LeafAreaIndex en del parametre med verdi for hver vegetasjonsklasse. Disse er ikke eksponert

for kalibrering, men tabellert direkte i koden. Disse er maksimums- og minimumsverdi for LAI og vegetasjon høyde i løpet av året, for hver vegetasjonsklasse (tabell 1).

Klasse	LAI max	LAI min	Hmax (m)	Hmin (m)	GDD start (°C)	GDD full (°C)	GDD høst (°C)
1 Gress	5.0	2.0	0.15	0.15	100	150	-
2 Korn	5.0	0.0	0.8	0.05	70	1000	1500
3 Potet	4.0	0.0	0.8	0.05	70	1000	1500
4 Rødbeter	4.0	0.0	0.8	0.05	70	1000	1500
5 Frukthager	6.0	2.0	10.0	2.0	100	150	-
6 Løvtrær	6.0	2.0	10.0	2.0/0.15*	100	150	-
7 Upland	5.0	2.0	0.15	0.15	100	150	-
8 Riparian	5.0	2.0	0.15	0.15	100	150	-
9 Rock	0.0	0.0	0.05	0.05	-	-	-
10 Bartrær	6.0	6.0	10.0	10.0	-	-	-
11 Urban	0.0	0.0	10.0	10.0	-	-	-
12 Vann	0.0	0.0	0.005	0.005	-	-	-
13 Bar jord	0.0	0.0	0.05	0.05	-	-	-

Tabell 1: LAI, vektetasjonshøyde og sesongavgrensninger for de 13 klassene av overflatedekke.

* de to verdiene er for trær uten blader (0,15), og ved løvsprett (2.0)

2.3 Bruk:

I Enki kjøres LeafAreaIndex før rutiner som trenger LAI eller terrengruhet som varierer med vegetasjon, for eksempel EFM-Basic. SnowStorage (input) brukes ikke kvantitativt, bare som flagg for å avgjøre hvorvidt det er snøfrie forhold.

For barskog ligger LAI konstant på 6.0 under hele året, og vegetasjonsklassene for stein, vann og urbane områder har en konstant verdi 0,0. De øvrige vegetasjonsklassene har en sesongvariasjon i LAI som er kontrollert av graddagssummen (GDD). En oversikt over slike modeller er gitt i Chuine (2000) og Hänninen and Kramer (2007). Modellen implementert her er basert på Bonan et al,(2003). LAI har en minimumsverdi som angitt i tabell 1. Jordbruksområder har 0,0 som minimumsverdi, mens løvfellende skog har en minimumsverdi som er gitt av undervegetasjonen, antatt den samme som for grasmark. GDD ved tiden t_i gis av:

$$GDD_{t_i} = \sum (T_{t_i} - T_{veg}) \quad (1)$$

For løvtrær er løvsprettidspunkt er satt til 100 døgngader dersom bakken er snøfri. Deretter kreves ytterligere 50 døgngader før bladverket er fullt utviklet. En lineær utvikling i LAI og vegetasjon høyde antas:

$$X = X_{\min} + \frac{GDD_{100+}}{50} (X_{\max} - X_{\min}) \Big|_{\max=X_{\max}} \quad (2)$$

der X er enten henholdsvis bladarealindeks eller vegetasjon høyde. GDD_{100+} betyr høyere enn 100 GDD.

En enkel tilnærming brukes til å beskrive bladfelling om høsten. Hvis den gjennomsnittlige temperaturen de siste 10 dagene er under terskelen 5°C , bladene begynner å forsvinne og etter 15 dager alle bladene er borte. En lineær nedgang på LAI som funksjon av tiden er antatt.

For jordbruksarealer er 70 GDD er nødvendig for at vekst skal starte, 1000 GDD for å få fullt utviklet bladverk, og 1200 GDD før avlingen er moden og høstes. GDD settes til 0.0 1 januar og holdes på 0 gjennom hele januar og februar, selv om temperaturen skulle være høyere enn Tveg.

3 Referanser

Bonan, G., Levis, S., Sitch, S., Vertenstein, M., og Oelson, K.W. (2003): A dynamic global vegetation model for use with climate models: concepts and description of simulated vegetation dynamics, *Global Change Biology*, 9, 1543 – 1566.

Chuine, I. (2000): A Unified model for Budburst of Trees, *Journal of theoretical Biology*, 207, 337-347

Hänninen, H., og Kramer, K. (2007): A Framework for Modelling the Annual Cycle of Trees in Boreal and Temperate Regions, *Silva Fennica* 41(1), 167 – 205.

Notat

ENKI-rutine: LinearTank

SAKSBEHANDLER / FORFATTER
Sjur Kolberg

BEHANDLING
UTTALELSE
ORIENTERING
ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge
Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet
www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
12x855

DATO
2016-03-04

GRADERING
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Enkel lineær responsrutine: LinearTank.....	3
2.1	Variabelgrensesnitt	3
2.2	Kalibrering:.....	3
2.3	Bruk:.....	3

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

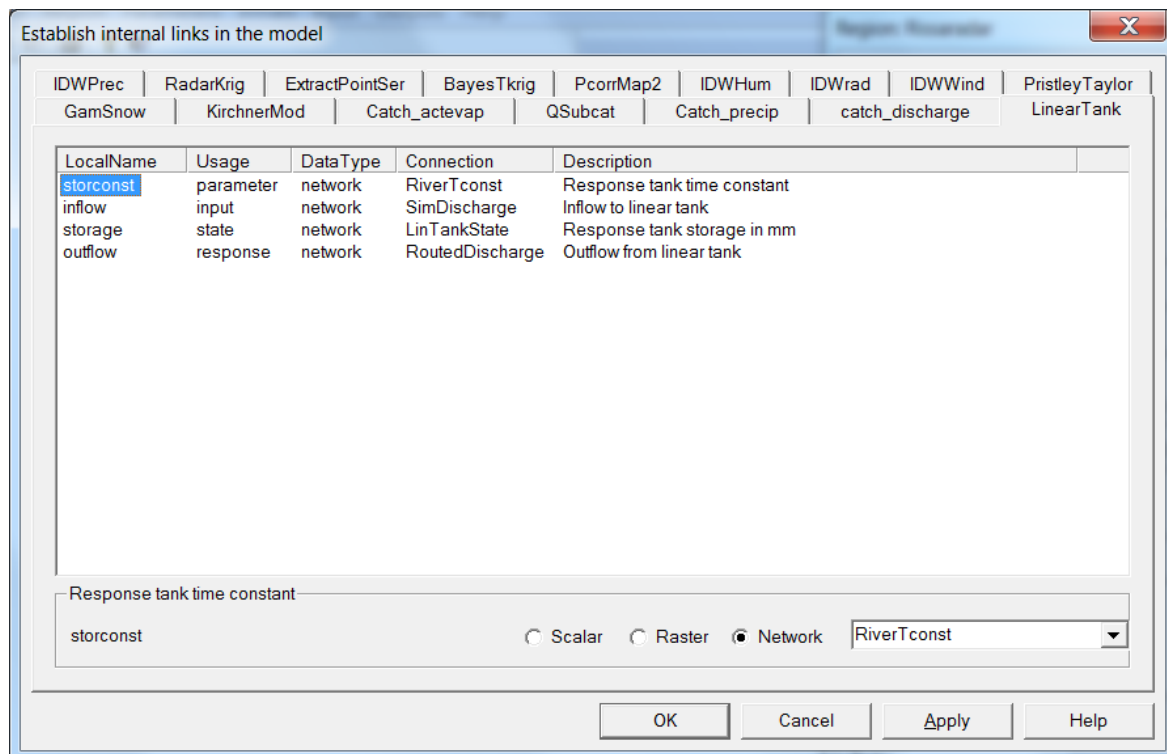
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjons høyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutinene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for LinearTank

2 Enkel lineær responsrutine: LinearTank

Det lineære karet har en viss anvendelse i enkle routing-ligninger, men er mest brukt som byggekloss i mer sammensatte modeller. Enkis implementasjon er skrevet for illustrasjons- og demoformål. Den virker, men er numerisk uegnet for parameterverdier som ikke ligger svært nær 1.0.

2.1 Variabelgrensesnitt

Statistiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibreringsintervall
Storconst	Parameter	Valgbar	Reduksjonsfaktor [Δt^{-1}]	Avh. av anvendelse, [0,1]

Dynamiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	
Inflow	Input	Valgbar	Inngangsdata til rutina, vanligvis [mm] eller [m ³ /s]	
Storage	State	Valgbar	Karinnhold i det lineære karet	
Outflow	Respons	Valgbar	Dempet respons	

2.2 Kalibrering:

Reduksjonsfaktoren er begrenset av 0 og 1 for å sikre endelig karinnhold og ikke negativ output. Ut over dette er rutinen formulert på alle enkleste måte, og anbefales ikke brukt med tidsskritt-lengde som betinger parameterverdier langt under 1. Tappekonstanten er ikke normalisert mhp tidsskritt-lengde, og må derfor re-skaleres dersom en endrer tidsoppløsning.

2.3 Bruk:

Et lineært kar har en konstant utløpskoeffisient eller tidskonstant, dvs at forholdet mellom utgangsverdiene ved to påfølgende tidsskritt alltid er det samme dersom input=0. Dette forholdet er gitt av den frie parameteren. Utgangssignal vil synke eksponentielt mot 0 så lenge rutinen ikke har noe påtrykk, og øke asymptotisk mot output=input med konstant positivt påtrykk.

Enkis implementasjon av LinearTank er ment som eksempel rutine, og kodet med vekt på enkelthet. Den har ingen numerisk integrasjon av responsfunksjonen i tid; all input legges til momentant i starten av tidsskrittet, og en andel av magasininnholdet flyttes til output.

Notat

ENKI-rutine: MapBias

SAKSBEHANDLER / FORFATTER

Kolbjørn Engeland, Sjur Kolberg

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
12x855**DATO**
2016-02-24**GRADERING**
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Invers-distanse-interpolert volumavvik; MapBias.....	3
2.1	Kalibrering:.....	4
2.2	Bruk:.....	4

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

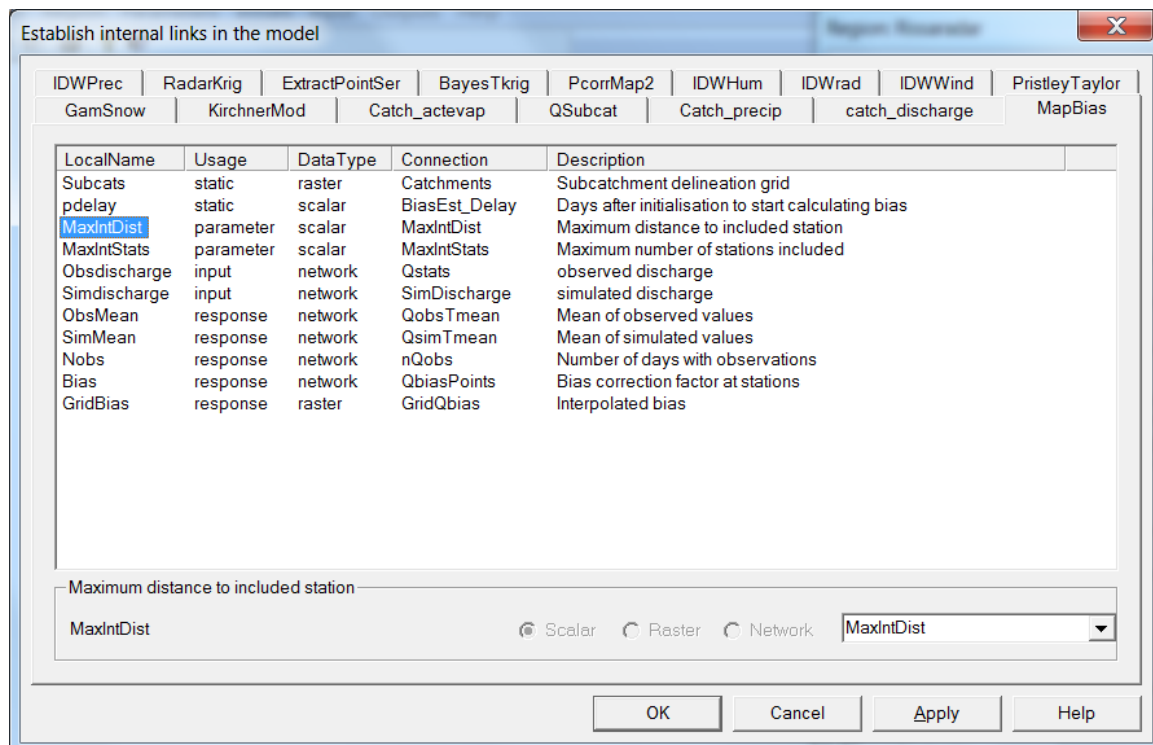
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjonshøyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutineene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for MapBias

2 Invers-distanse-interpolert volumavvik; MapBias

MapBias er ikke en klassisk Enki-simuleringsrutine, men en evalueringsrutine som leser inn både simulert og observert vannføring. Gjennomsnittlig simulert og observert avrenning blir beregnet for alle målte felt. Forholdet mellom disse (som gir grunnlag for en bias-korreksjonsfaktor) beregnes for alle målte stasjoner, og kopieres til alle gridrutene i de respektive delfeltene. Til slutt interpoleres korreksjonsfaktoren fra stasjonene ut til alle de gridrutene som ikke ligger i et felt med målt vannføring. Inverse Distance Weighting (IDW) benyttes i interpoleringen fra vannføringsstasjonene til gridruter. Det er derfor en stor fordel om disse nettverkspunktene ligger fornuftig plassert i hvert sitt delfelt, gjerne i feltets geografiske tyngdepunkt.

Nødvendig informasjon for rutinen er punktkart over nedbørfelt (målte og umålte) og rasterkart med nedbørfelt-tilhørighet, med korresponderende ID-verdier. Dynamisk input er tidsserier for målt og simulert vannføring fra noen av disse nedbørfeltene.

Statistiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibreringsintervall
Subcats	Static	Raster	Rasterkart over nedbørfelt-tilhørighet (ID) for hver gridrute. ID må stemme med ID i Obsdischarge og Simdischarge.	Kalibreres ikke
Pdelay	Static	Scalar	Antall dager fra start simulering som utelates fra beregningen, typisk for å redusere effekten av upresis initialisering.	Kalibreres ikke, settes avhengig av sesong/situasjon.
MaxIntDist	Parameter	Scalar	Største avstand til stasjoner som inkluderes i interpoleringen (samme lengde-enhet som i GIS-koordinatene). Må være så stor at alle lokaliteter har en stasjon innenfor avstanden.	D_{max} . $[D_{min}, D_{max}]$.
MaxIntStats	Parameter	Scalar	Største antall stasjoner som skal inkluderes i interpoleringen. Verdier større enn antall stasjoner i regionen (N_{max}) trunkeres.	N_{max} . $[0, N_{max}]$.

Dynamiske variable			
Local name	Usage	Data type	Description
Obsdischarge	Input	Nettverk	Observerte vannføring [m^3/s]
Simdischarge	Input	Nettverk	Simulert vannføring [m^3/s]
ObsMean	Response	Nettverk	Gjennomsnittlig observerte vannføring [m^3/s]
SimMean	Response	Nettverk	Gjennomsnittlig simulert vannføring [m^3/s]
Nobs	Response	Nettverk	Antall tidsskritt med god vannføringsobservasjon [-]
Bias	Response	Nettverk	Forhold Obs/Sim discharge ved stasjonene [-]
GridBias	Response	Raster	Forhold Obs/Sim discharge i gridruter [-]

2.1 Kalibrering:

Rutinen inneholder ingen parametre som skal kalibreres, men en må velge en verdi for Pdelay. Denne bestemmer lengden (dager) av en oppvarmingsperiode før modellen begynner å akkumulere simulert og målt avrenning. Særlig dersom en starter simuleringen med stor usikkerhet i initialtilstanden er det en fordel å sette Pdelay til en periodelengde som gjør at modellens tilstander "glemmer" starttilstanden og gjenspeiler input og kalibrering. Har en derimot en starttilstand simulert med samme modell og samme mengde inputdata over tilstrekkelig tid, er det ikke noen grunn til å legge inn ytterligere oppvarmingsperiode. Fordelen av å starte og slutte aggregeringsperioden ved tidspunkter med liten tilstandsusikkerhet er den samme.

2.2 Bruk:

Rutinen kan brukes rent diagnostisk, men estimerer også et forenklet korreksjonskart som kan anvendes for å korrigere systematiske vannbalansefeil i en rasterfordelt modell. MapBias bør bare anvendes etter at modellen (og i særdeleshet andre vannbalanseregulerende parametre) er ferdig kalibrert. Siden alle ruter i målte felt har samme verdi, vil korreksjonskartet som estimeres (GridBias) ha tydelig ulike egenskaper i og utenfor målte felt. De interpolerte verdiene utenfor målte felt avhenger av stasjonsverdiene, ikke av eventuelle naboruter i målte felt. Det er ikke gjort noe forsøk på å estimere en glatt flate i overgangen mellom disse, slik det ville være mulig med mer sofistikerte metoder.

MapBias bør anvendes over hele år, og gjerne en lang periode, dersom målet er generell korrigerende av vannbalansefeil. For diagnostisk bruk kan perioden være kortere, en må da huske at resultatet er en kombinasjon av vannbalansefeil og forskjell i magasininnhold mellom start og slutt av perioden. I regioner med store gradienter i årsavløp må en huske at den interpolerte bias-verdien er et forholdstall som kan gi store utslag dersom den estimeres i tørre felt og anvendes på våte.

Notat

ENKI-rutine PcorrMap

SAKSBEHANDLER / FORFATTER
Lena S Tøfte, Sjur Kolberg

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
12X855

DATO
2016-02-23

GRADERING
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Nedbørkorreksjon PcorrMap.....	3
2.1	Grensesnitt	3
2.2	Kalibrering:.....	3
2.3	Bruk:	3

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

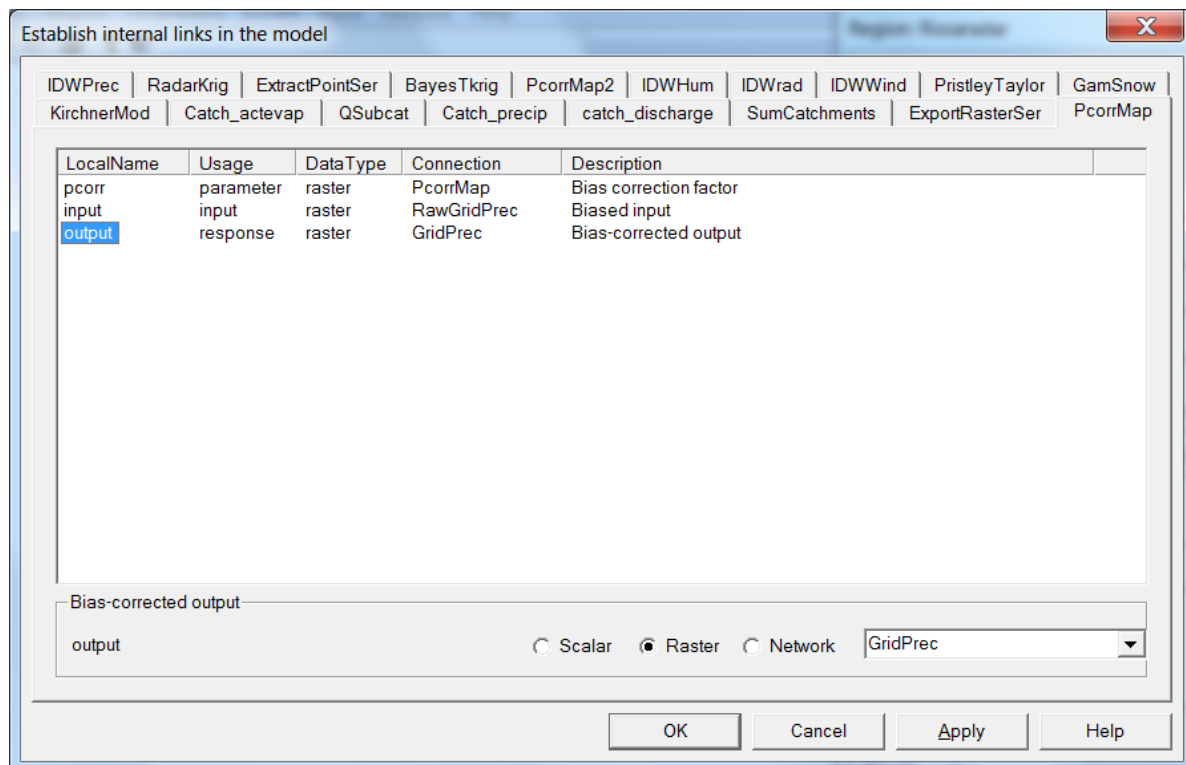
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjonshøyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutinene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for PcorrMap

2 Nedbørkorreksjon PcorrMap

Enki-rutinen PcorrMap er en enkel korreksjon ment for romlig fordelt korrigering av nedbør, men anvendbar for en hvilken som helst variabel. Den kan brukes der en har et kart av estimert bias-korreksjon, eksempelvis estimert vha Enki-rutinen MapBias. Pcorrmap multipliserer helt enkelt hver rutes inngangsverdi med samme rutes korreksjonsfaktor og kommer fram til et korrigert kart.

2.1 Grensesnitt

Variabelgrensesnittet i PcorrMap er gitt i tabellene under. Det er mulig å definere alle variablene som raster, nettverk eller skalar, men alle fordelte variable må ha samme geometri.

Statiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibreringsintervall
Pcorr	Static	Valgbar	Korreksjonsfaktor [-]	1.0 [0.5, 1.5]

Dynamiske variable			
Local name	Usage	Data type	Description
Input	Input	Valgbar	Råverdi [vilkårlig enhet]
Output	Response	Valgbar	Korrigert verdi [samme enhet som Input]

2.2 Kalibrering:

Dersom Pcorr er et kart har rutinen ingen kalibrerbare variable. Dersom Pcorr er en skalar kan den kalibreres. Det er ingen restriksjoner på Pcorr, rutinen kan også brukes i vilkårlig re-skalering med faktorer langt fra 1.

2.3 Bruk:

I den typiske situasjonen har alle de tre variablene samme geometri, som kan være enten et nettverk (korrigering av feks stasjonsnedbør) eller et raster (korrigering av for eksempel rutenedbør). En kan også ha Pcorr som en skalar kalibreringskonstant, eller en kan ha en skalar input og et fordelt korreksjonskart som gir romlig variasjon. Et alternativ til PcorrMap er PcorrMap2, som tillater ulik korreksjonsfaktor for sommer- og vinterforhold.

Notat

ENKI-rutine: PcorrMap2

SAKSBEHANDLER / FORFATTER
Lena S Tøfte, Sjur Kolberg

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
12x855

DATO
2015-02-23

GRADERING
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Typeavhengig nedbørkorreksjon PcorrMap2	3
2.1	Variabelgrensesnitt	3
2.2	Kalibrering:	3
2.3	Bruk:	3

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

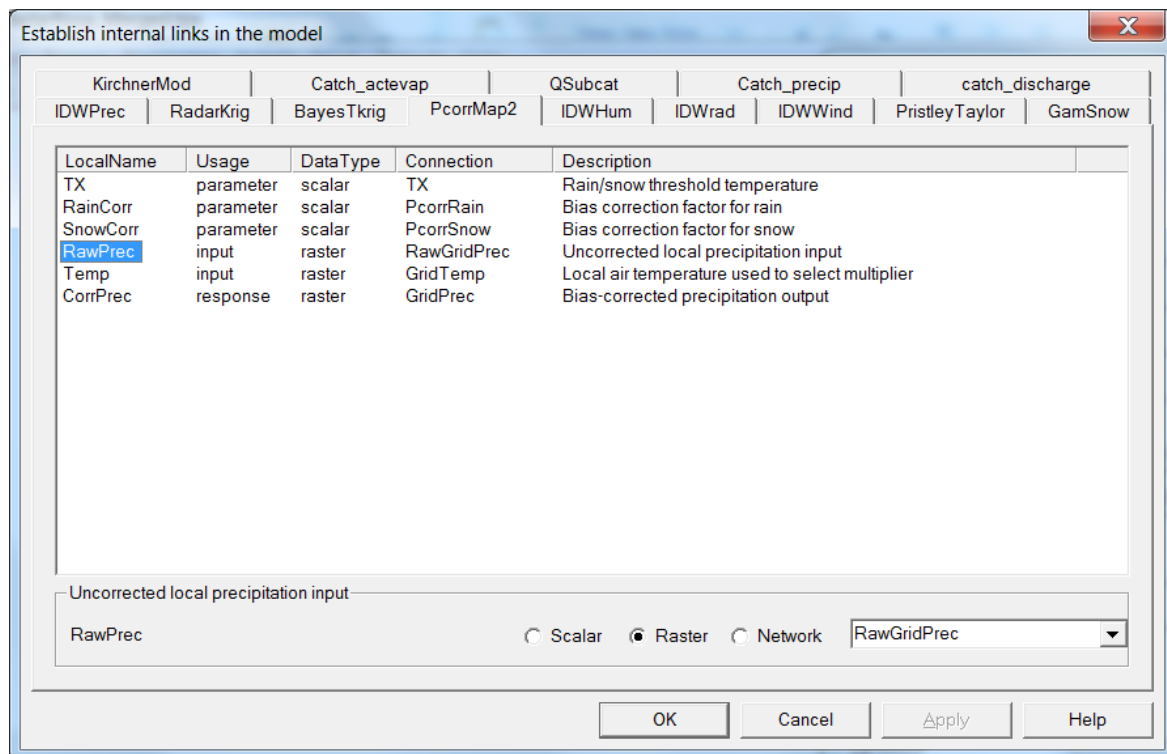
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjonshøyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutineene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på oppsett av PcorrMap2

2 Typeavhengig nedbørkorreksjon PcorrMap2

Enki-rutinen PcorrMap2 er en nedbørkorreksjonsrutine ment for romlig fordelt korrigering av nedbør, og med ulike parametre for korrigering av snø- og regnedbør. Korreksjonen er enkel; etter klassifisering av nedbør basert på TX og Temp, multipliseres regn med RainCorr, og snø med SnowCorr, før CorrPrec samler opp begge disse. Bare TX har låst datatype (skalar), men alle fordelte variable må ha samme geometri.

2.1 Variabelgrensesnitt

Statiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibreringsintervall
RainCorr	Parameter	Valgbar	Bias correction factor for rain [-].	1.0 [0.5, 1.5]
SnowCorr	Parameter	Valgbar	Bias correction factor for snow	1.0 [0.5, 2.0]
TX	Parameter	Scalar	Rain/snow threshold temperature [°C]	1.0 [-1.5, 4.0]

Dynamiske variable			
Local name	Usage	Data type	Description
RawPrec	Input	Valgbar	Lokal nedbør, målt eller interpolert [mm/tidsskritt]
Temp	Input	Valgbar	Lokal temperatur, målt eller interpolert [°C]
CorrPrec	response	Valgbar	Korrigert lokal nedbør [mm/tidsskritt]

2.2 Kalibrering:

Avhengig av om RainCorr og SnowCorr settes opp som fordelt (raster/nettverk) eller skalar er det 1 – 3 parametre som åpnes for kalibrering, TX er alltid kalibrerbar. Dersom optimal TX-verdi ligger helt i kanten av anbefalt intervall bør en vurdere datagrunnlaget og/eller andre parametre, særlig høydegradienter. Når RainCorr og SnowCorr to kalibreres er de felles for hele regionen, og vil normalt virke dempende på vannbalansefeil uten å nødvendigvis gi noen vesentlig innsikt i årsaken. For norske forhold er de to effektive i ulike sesonger, og dermed noenlunde godt separert mht identifiserbarhet.

2.3 Bruk:

PcorrMap2 kan anvendes i en fordelt modell både før og etter interpolering av nedbør, dvs både på stasjonsnivå og på gridrutenivå. PcorrMap2 har imidlertid ikke noen interpolering, slik at temperatur må være tilgjengelig for hver enkelt nedbørstasjon dersom den skal kjøres på stasjonsnedbør. Dersom PcorrMap2 kjøres for stasjonsnedbør er det lett å tenke seg parameterne tolket som kompensasjon for oppfangningssvikt, og en kan eksempelvis bruke Meteorologisk Institutt's eksposisjonsklassifisering av hver enkelt stasjon for å bestemme de to korreksjonsparameterne.

Med PcorrMap2 anvendt på ferdig interpolerte nedbør- og temperaturdata vil parameterne ofte være skalare, men en kan tenke seg snøtakseringer eller satellittbilder brukt som datakilde for å estimere en fordelt snøkorreksjon, og eksempelvis værradarbilder for å estimere et regnkorreksjonskart. En kan også på annen måte ha et rikere datagrunnlag tilgjengelig for langtids vannbalanse enn for daglig drift, og i dette finne grunnlag for et korreksjonskart.

Notat

ENKI-rutine: Priestley-Taylor ligning for potensiell fordampning

SAKSBEHANDLER / FORFATTER

Sjur Kolberg, Kolbjørn Engeland

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR

12X855

DATO

2015-10-20

GRADERING

Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Priestley-Taylor	3
2.1	Variable i Priestley-Taylor	3
2.2	Kalibrering:	3
2.3	Prinsipp og ligningsgrunnlag	4

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

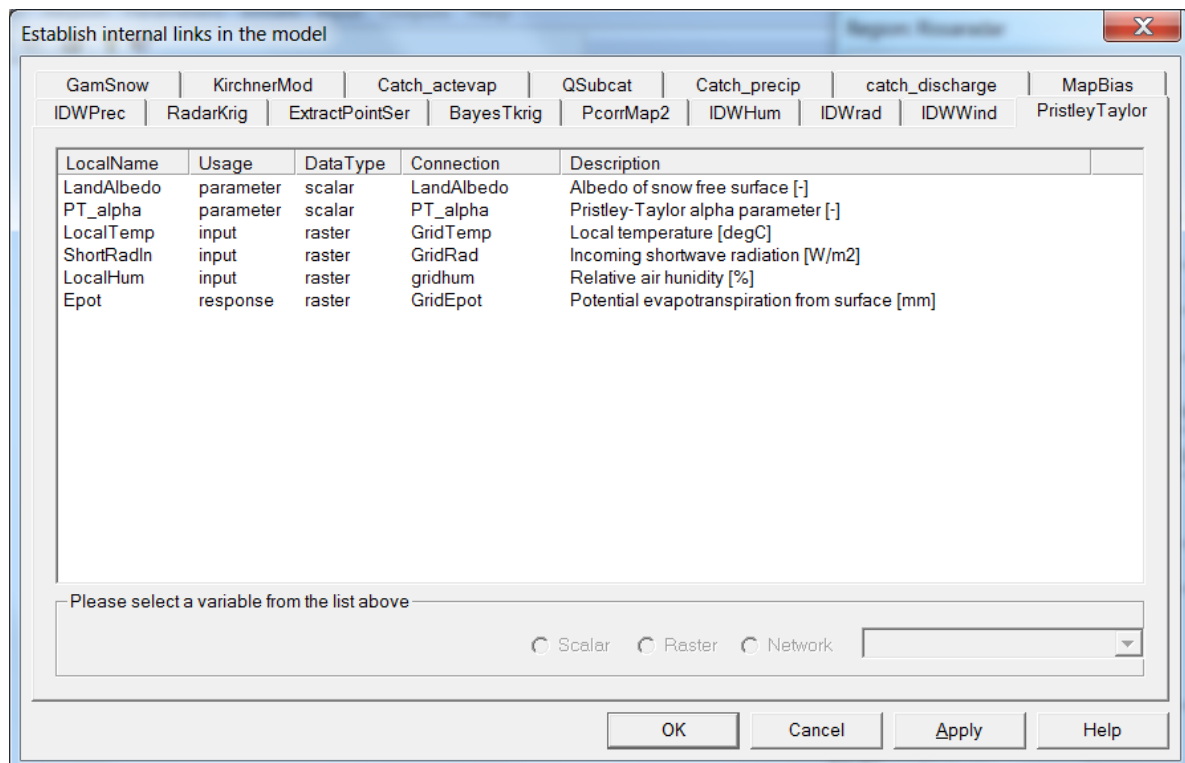
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjonshøyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutineene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for Priestley-Taylor

2 Priestley-Taylor

Priestley-Taylor fordampningsrutine er en forenkling av den mer komplette Penman-Monteith-ligningen. Forenklingen ligger primært i at det aerodynamiske leddet i Penman-Monteith erstattes av en enkelt skaleringsparameter α . Dette reduserer behovet for inngangsdata, både meteorologiske drivere og vegetasjonsegenskaper. Priestley-Taylor egner seg i områder der fordampning generelt begrenses av tilgjengelig energi og ikke av tilgang på vann, og kan under slike forhold produsere estimater som skiller seg 5-10% fra Penman-Monteith (Shuttleworth og Calder, 1979). Alternativt kan den anvendes for å simulere potensiell fordampning, med tanke på senere reduksjon til aktuell fordampning avhengig av fuktighetsforholdene.

I tillegg til utelatelse av aerodynamikken, bygger Priestley-Taylor-ligningen på en observasjon av at den vesentlige energien tilgjengelig for fordampning kommer fra stråling (Stagnitti et al., 1989). I sin enkleste versjon krever Priestley-Taylor-ligningen bare netto stråling som input. Netto stråling er imidlertid en balanse mellom inn- og utgående komponenter av både kortbølget og langbølget stråling, og er bare unntaksvis tilgjengelig. Enkis versjon av Priestley-Taylor inneholder derfor en beregning av nettostråling. Til dette behøves tidsserier for luftfuktighet og lufttemperatur for å beregne langbølget strålingsbalanse, og albedo i tillegg til tidsserier for kortbølget innkommende stråling for å beregne kortbølget strålingsbalanse.

Priestley-Taylor- koeffisienten α har en litteraturverdi på 1.26, estimert i den opprinnelige studien (Priestley and Taylor, 1972) og bekreftet gjennom å aggregere en rekke empiriske studier. Uten denne parameteren ($\alpha = 1$) skal ligningen stemme under en likevektsantagelse som bygger på at et atmosfæregrenselag over fuktige områder vil mettes med vann. Større fordampning ($\alpha > 1$) skyldes primært at et slikt grenselag ikke er uten interaksjon med øvrig atmosfære, slik at tørr luft alltid vil blandes inn og gi rom for høyere fordampning.

2.1 Variable i Priestley-Taylor

Statistiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibreringsintervall
LandAlbedo	Parameter	Valgbar	Reflektivitet fra snøfritt terreng [-]	0.15 [0.1, 0.3]
PT_alpha (α)	Parameter	Valgbar	Korreksjonsparameter [-]	1.26 [0.8, 2.0]

Dynamiske variable			
Local name	Usage	Data type	Description
LocalTemp	Input	Valgbar	Lokal lufttemperatur i standard målehøyde [°C]
ShortRadIn	Input	Valgbar	Lokal globalstråling [W/m ²]
LocalHum	Input	Valgbar	Lokal relativ luftfuktighet [%]
Epot	Respons	Valgbar	Lokal potensiell fordampning [mm]

2.2 Kalibrering:

For norske forhold anbefales at en ikke kalibrerer annet enn eventuelt PT_alpha (α i ligning 1), og bruker et fordelt kart for LandAlbedo. Datagrunnlag for et LandAlbedo-kart kan hentes fra satellittbilder eller vegetasjonskart og tabellverdier for dominant vegetasjon. Innsjøer og andre åpne vannflater har lav albedo, typisk <0.05. Om begge parameterne settes til skalar og kalibreres mot målt tilsig, vil de være

sterkt avhengige. Det samme gjelder dersom Priestley-Taylor simulerer potensiell fordampning som senere reduseres til aktuell fordampning i en rutine med egne frie parametre. Har modellen slike eller andre frie vannbalanse-parametre, bør en sterkt vurdere å fryse også α på litteraturverdien 1.26.

2.3 Prinsipp og ligningsgrunnlag

Enkis implementasjon av Priestley-Taylor behandler ikke albedo som varierer med bladverkets sesongvariasjon, og tar heller ikke på annen måte hensyn til vegetasjonsdynamikk. Noen versjoner har et varmefluksledd mot bakken i tillegg til strålingskomponentene, Enkis har ikke det. Med disse antagelsene er Priestley-Taylor-ligningen gitt ved:

$$ET_0 = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{s \cdot (R_s(1 - A) - R_{nl})}{s + \gamma} \cdot \alpha$$

Her er λ spesifikk fordampningsvarme, s er stigningstallet for sammenhengen mellom temperatur og mettet vanddamptrykk, γ er psykrometrisk konstant, R_s er innkommende kortbølget stråling, A er albedo, R_{nl} er netto langbølget stråling, og α er Priestley-Taylor-koeffisienten. Netto langbølget stråling er beregnet med standard lufttemperatur både for innkommende og utgående ledd, slik at de to komponentene i langbølget strålingsbalanse bare skiller seg i emissivitetsleddet:

$$R_{nl} = \sigma \cdot T_a^4 \cdot (e_{atm} - e_{gnd})$$

Her er σ Stephan-Bolzmanns konstant, T_a er lufttemperaturen [K], og bakkens emissivitet e_{gnd} er satt til 0.95. Atmosfærens emissivitet e_{atm} modelleres etter modellen foreslått av Brutsaert (1975), modifisert for skydekke etter Sicart et al (2006), ved å bruke relativ luftfuktighet som en proxy for skydekning:

$$e_{atm} = 1.24 \cdot \left(10 \cdot \frac{e_a}{T_a}\right)^{0.143} \cdot \left(0.85 + 0.5 \cdot \frac{RH}{100}\right)$$

Her er e_a vanddamptrykket, og RH relativ luftfuktighet.

Referanser

Brutsaert, W. H., 1975: On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies, *Water Resour. Res.*, 11, 742 – 744.

Priestley, C.H.B., and R.J. Taylor, 1972: On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Mon. Weather Rev.*, 100:81-82

Shuttleworth, W. J. and I. R. Calder, 1979: Has the Priestley-Taylor equation any relevance to forest evaporation? *J. Appl. Meteorol.*, 18, pp. 639-646.

Sicart, J. E., Pomeroy, J. W., Essery, R. L. H., and D. Bewley, 2006: Incoming longwave radiation to melting snow: observations, sensitivity and estimation in northern environments, *Hydrol. 30 Process.*, 20, 3697–3708, doi:10.1002/hyp.6383.

Stagnitti, F., J.-Y. Parlange and C. W. Rose, 1989: Hydrology of a small, wet catchment. *Hydrological Processes* vol. 3, 137-150.

Notat

ENKI-rutine: QSubcat

SAKSBEHANDLER / FORFATTER
Lena S Tøfte, Sjur Kolberg

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
12x855

DATO
2016-02-28

GRADERING
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Aggregering av avløpsproduksjon til vannføring/tilsig: QSubcat.....	3
2.1	Variabelgrensesnitt	3
2.2	Kalibrering:.....	3
2.3	Bruk:.....	3

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

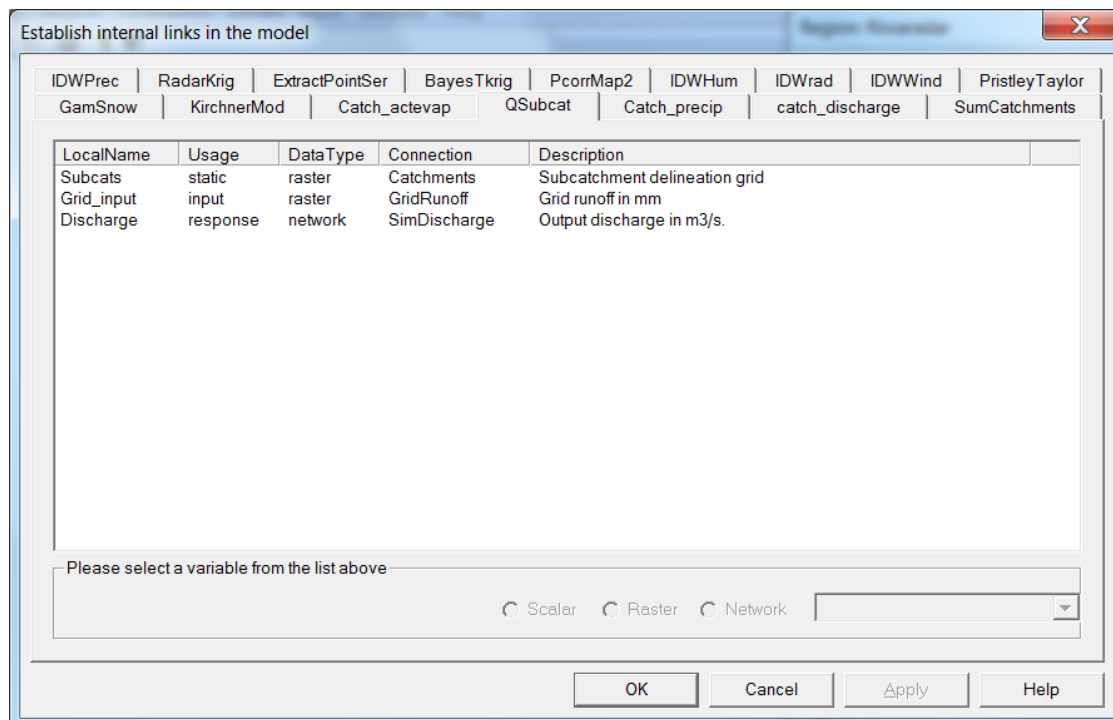
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjons høyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutinene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for QSubcat

2 Aggregering av avløpsproduksjon til vannføring/tilsig: QSubcat

I en griddet modell simuleres avløpsproduksjon i hver gridrute, angitt i mm/tidsskritt. De prediksjonene en har bruk for, og mulighet til å evaluere, er vannføring i elv forbi en målestasjon, eller tilsig til et magasin. En må dermed aggregere avløpsproduksjonen over et nedbørfelt. QSubcat gjør dette på enkleste vis, summerer opp uten tidsforsinkelse eller hydraulisk dempning, og reskalerer fra mm/tidsskritt til m³/s.

2.1 Variabelgrensesnitt

Statistiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibreringsintervall
Subcats	Static	Raster	Griddet kart med delfelt-tilhørighet angitt for hver rute som ID.	Kalibreres ikke

Dynamiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	
Grid_input	Input	Raster	Avløpsproduksjon fra responsrutine [mm/tidsskritt]	
Discharge	Response	Nettverk	Vannføring eller tilsig fra delfelt [m ³ /s]	

2.2 Kalibrering:

QSubcat har ingen parametre som kan kalibreres. Vanligvis vil QSubcat brukes sammen med en responsrutine, som kalibreres basert på de delfelt-prediksjonene som kombinasjonen av de to produserer. Dermed vil responsrutinen gjerne kompensere for den grove forenklingen i QSubcat ved å overdrive forsinkelsen og dempningen i gridrute-responsen. Det er grunn til å ønske en forbedring av Qsubcat slik at den ikke er avhengig av kompensasjon i en annen rutine.

2.3 Bruk:

QSubcat aggregerer på enkleste måte, uten noen forsinkelse eller dempning i kanalnett. Dette representerer en feil sammenlignet med de naturlige forholdene. Feilen øker med hydraulisk dempning, og dermed med feltstørrelse, innsjøprosent, og andre forhold som ikke er tilstrekkelig representert i responsrutinen. Simulering med korte tidsskritt vil gi mer merkbar feil enn simulering på døgn eller lengre. Der Qsubcat simulerer tilsig til en naturlig innsjø, kan en korrigere for denne innsjøens dempning ved å bruke vannstandsvariasjoner og innsjøareal i tillegg til vannføringskurven ut av sjøen, under beregning av observert tilsig.

Konverteringen fra mm/t til m³/s korrigerer automatisk for valgt tidsskritt. Den simulerte verdien må ses på som gjennomsnittsverdi over det aktuelle tidsskrittet.

Qsubcat simulerer vannføring ut fra et delfeltkart med gjensidig utelukkende områder. Det betyr at hver gridrute tilhører ett og bare ett delfelt, og dermed at det for et større vassdrag er tilsig eller vannføring fra lokalfeltet som simuleres i QSubcat. Med andre ord; der QSubcat brukes i kjedete delfelt vil simulert tilsig for de delfeltene som har oppstrøms nabo, bare beskrive lateralt tilsig til lokalfeltet. Ved sammenligning med målt vannføring kan en løse dette på to måter. Enten kan en bruke en etterfølgende

rutine av typen SumCatchments eller lignende som aggregerer vannføringen fra kjedete felt; eller en kan subtrahere oppstrøms observert tilsig fra nedstrøms slik at en tilpasser de observerte seriene til de simulerte. Den første løsningen har en fordel i at data-manipuleringen samles på den simulerte siden, og at de relative feilene ved å summere to felt gjerne er mindre dramatiske enn ved å subtrahere. Den andre løsningen kan forsvares i en kalibreringssituasjon ved at hvert delområde får samme innflytelse på resultatet, i stedet for at et nedstrøms felt delvis gjentar den informasjonen som allerede er tatt hensyn til i oppstrøms evaluering.

Notat

ENKI-rutine: KrigOroPrec

SAKSBEHANDLER / FORFATTER
Sjur Kolberg

BEHANDLING
UTTALELSE
ORIENTERING
ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge
Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet
www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
502000660

DATO
2016-03-03

GRADERING
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Geostatistisk interpolering: Kriging	3
2.1	Variabel-grensesnitt	3
2.2	Kalibrering:	4
2.3	Bruk:	4

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

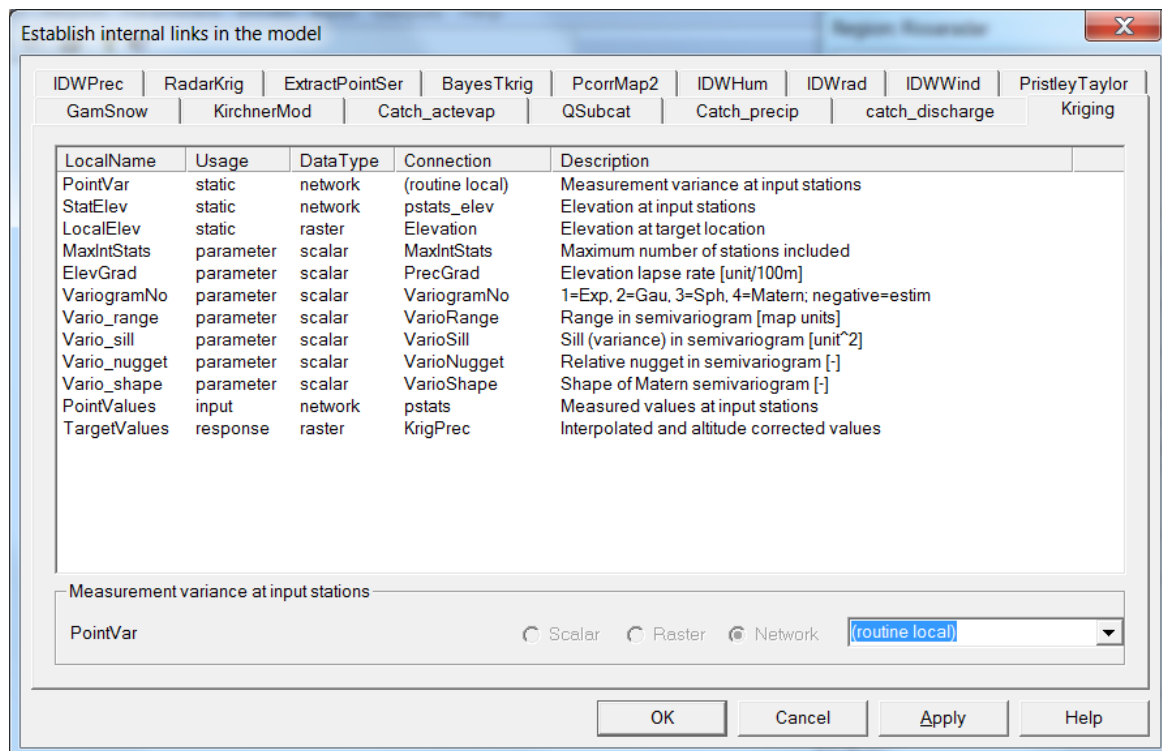
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjons høyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutinene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for Kriging-rutina.

2 Kombinering av stasjons- og radarnedbør: RadarKrig

RadarKrig er en rutine som kombinerer informasjonen i et nedbørkart fra værradar med informasjonen i et antall tradisjonelle nedbørstasjoner. Prinsippet er residual-kriging, dvs at en tar utgangspunkt i stasjonslokalitetene der begge datakildene har verdi, og interpolerer differansen mellom disse verdiene fra stasjonslokalitetene til hele flaten. Denne differanseflaten legges så til radarkartet. Med andre ord anses stasjonsverdiene som sanne og radarinformasjonen som feil der begge finnes, og feilene i radardataene anses å representerer en glattere flate enn radardataene alene. Sluttresultatet vil ha en detaljeringsgrad som ligger vesentlig nærmere radarbildet enn en flate interpolert fra stasjonsverdier.

Interpoleringen er basert på Kriging. Kriging er en klassisk teknikk for å interpolere fra punktmålinger til et sett av mål-lokaliteter, ofte spesifisert som et rasterkart. Algoritmen er mer utførlig beskrevet i dokumentasjonen av Enkis generelle Kriging-rutine. Kriging estimerer stasjonsvekter for hver mål-lokalitet (oftest en gridrute) ut fra avstands-avhengig kovarians, både mellom mål-lokaliteten og hver målestasjon, og mellom målestasjonene innbyrdes. Sammenhengen mellom avstand og kovarians er gitt i et *semivariogram* som er felles for hele regionen.

Nødvendig statistisk informasjon er stasjonskart over nedbørmålerne. I tillegg til selve nedbørtidsseriene krever rutinen dynamisk meteorologisk input (romlige middelerverdier) for å drive orografimodellen.

2.1 Variabel-grensesnitt

Statistiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibrerings-intervall
MaxIntStats	Parameter	Skalar	Største antall nabostasjoner som skal inkluderes i interpoleringen [-]	N_{\max} . $[0, N_{\max}]$.
VariogramNo	Parameter	Skalar	Nummer. 1=Ekspensiell, 2= Gaussisk, 3=Sfærisk, 4=Matern. Negativt nummer gjør at parametre estimeres løpende.	1 {-4,...,-1}{1,...,4}
Vario_range	Parameter	Skalar	Range i semivariogrammet [kartenhet]	[10km, 100 km]
Vario_sill	Parameter	Skalar	Sill (maksvarians) i semivariogrammet [data-enhet ^2]	100 [10, 1000]
Vario_nugget	Parameter	Skalar	Relativ nugget (andel av Sill) [-]	0.1 [0.02, 0.7]
Vario_shape	Parameter	Skalar	Shape-parameter i Matern semivariogram	1.5 [1.0, 2.0]

Dynamiske variable			
Local name	Usage	Data type	Description
RadarPrec	Input	Raster	Målt radarnedbør [mm]
StatPrec	Input	Valgbar	Målt stasjonsnedbør [mm]
MergedPrec	Response	Raster	Orografikorrigert interpolert nedbør [mm]
RadGaugeCorr	Response	Skalar	Romlig korrelasjonskoeffisient mellom radar- og bøttenedbør
RadGaugeSlope	Response	Skalar	Stigningstall i lineær relasjon mellom radar og bøttenedbør
RadGaugeINterc	Response	Skalar	Konstantledd i lineær relasjon mellom radar og bøttenedbør

2.2 Kalibrering:

I RadarKrig er det Kriging-interpolatoren som står for alle parameterne. Nedbør er en av de vanskeligste variablene å spesifisere interpolasjonsparametre for, og en kan ikke regne med at alle parameterne blir tilfredsstillende identifisert basert på datamaterialet i tradisjonell hydrologisk modellkalibrering. Det kan anbefales å kjøre separate kalibreringer av RadarKrig alene, satt opp i kryssvaliderings-modus (se under) for å estimere parametre frikoblet fra resten av hydrologimodellen. MaxIntStats kan ofte settes til et høyt tall (og dermed uvirksom), med mindre en har delområder med høyere stasjonstetthet enn ellers, der en ønsker en mer detaljert flate. En lav grense for MaxIntStats kan føre til tydelige grenser i det interpolerte kartet ettersom stasjoner faller innenfor og utenfor nabolista.

RadarKrig inneholder ingen mulighet for å beregne eller korrigere for høydeavhengighet i nedbør.

Av semivariogram-parameterne er Range og Nugget de viktigste parameterne. Det anbefales å starte med eksponensielt semivariogram, og en range som er markert større enn en typisk avstand mellom to nabostasjoner. Sill kan som utgangspunkt settes som den romlige variansen ved et typisk tidsskritt. Nugget beskriver den romlige variansen over avstander som er mindre enn det stasjonsnettet fanger opp, og skal forstås som en andel av Sill. For nedbør-døgnverdier i norsk fjellterreng kan nugget ofte ligge på over 0.5; for timesverdier trolig enda høyere. Shape er bare virksom for Matern semivariogram, og anbefales bare brukt i spesielle situasjoner med mye data.

Negative verdier for variogramnummer betyr det samme som de respektive positive, men at parameterne estimeres fra observasjonene for hvert tidsskritt. Dette vil bare fungere med et betydelig antall stasjoner (>25), og bare for tidspunkter da minst 15 stasjoner observerer positiv nedbør. Daglig estimering av semivariogram for nedbør gir svært ustabile estimater og anbefales bare i spesielle situasjoner med mye data.

Det kan anbefales å kalibrere en modell bestående av bare RadarKrig i kryssvaliderings-modus, for å bestemme Kriging-parameterverdiene separat; uavhengig av responsen i en hydrologisk modell. Se siste avsnitt om kryssvalidering.

2.3 Bruk:

Prinsippet bak RadarKrig innebærer at en stoler på bølgeobservasjonene der disse foreligger, og bruker disse til å korrigere radaren. Når differansen mellom disse (bølge minus radar) interpoleres fra stasjonslokalitetene til fullstendig kart, får den resulterende differanseflaten en glatthet som i all hovedsak er bestemt av stasjonstettheten. Når denne differanseflaten legges til radar-kartet, vil sum-flaten i alle observasjonslokalitetene få tilbake den originale bølgeverdien. Mellom stasjonslokalitetene vil radarkartet korrigeres, men fordi korreksjonskartet er glatt, vil alt det vesentligste av detaljer fra radarkartet bli med i det kombinerte kartet. En får altså et resultat der nivået i all hovedsak er hentet fra stasjonsmålingene, mens detaljene hentes fra radarkartet.

Metoden fungerer godt når feilene i radar-kartet har opphav i storskala variasjoner. En kan tenke seg at dette gjelder usikkerheter i VPR-korreksjon, Z-R-konvertering o.l, uten at den romlige kovariansstrukturen i disse parameterne er undersøkt. Motsatt vil metoden ikke korrigere småskalafeil som feks bakke-clutter; og der slike feil opptrer ved en stasjon, kan metoden spre en motsatt feil ut over et større

område enn hva den opprinnelige feilen dekket. Det er derfor grunn til å minimere slike systemfeil på forhånd så langt der er mulig.

RadarKrig er i prinsippet anvendbar på hvilken som helst tidsoppløsning, men kan gi mye støy i svært fin tidsskala, særlig for lav nedbørintensitet. Det anbefales å vurdere resultatene manuelt dersom rutinen brukes med høyere tidsoppløsning enn en time. For høy tidsoppløsning vil det også være et betydelig forbedringspotensiale i å ta i bruk adveksjonsberegning som ikke er en del av RadarKrig nå.

I tillegg til å beregne kombinert nedbørkart fra radar og stasjonsnedbør, estimerer RadarKrig også koeffisienter og samsvar i en lineær sammenheng mellom mellom radar-signalet og stasjonsobservasjonene. Disse tre verdiene eksporteres som skalarer, dvs én verdi pr tidsskritt for hele regionen. Dette er tenkt som grunnlag for videre analyser, der en kan studere tidsvariasjoner i samsvaret mellom radar- og stasjonsnedbør.

Som de øvrige av Enkis interpolasjonsrutiner kan RadarKrig kjøres i kryssvalideringsmodus, ved å velge samme geometri på inngangs- og utgangssiden. Da vil hver mål-lokalitet ignorere nærmeste stasjon, som har samme posisjon og avstand = 0. En interpolerer dermed radarkorreksjonen til hver stasjonslokalitet fra naboene uten å bruke stasjonens egen verdi. Dette gir en måleserie ved hvert målested som om stasjonen ikke fantes, og er nyttig i evaluering av både metode og stasjonsnettverk.

Notat

ENKI-rutine: SnowReflect

SAKSBEHANDLER / FORFATTER
Sjur Kolberg

BEHANDLING
UTTALELSE
ORIENTERING
ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge
Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet
www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
12X855

DATO
2016-03-01

GRADERING
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Reflektans fra delvis snødekket mark: SnowReflect	3
2.1	Variabelgrensesnitt	3
2.2	Kalibrering:	3
2.3	Bruk	4
3	Referanser:	4

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

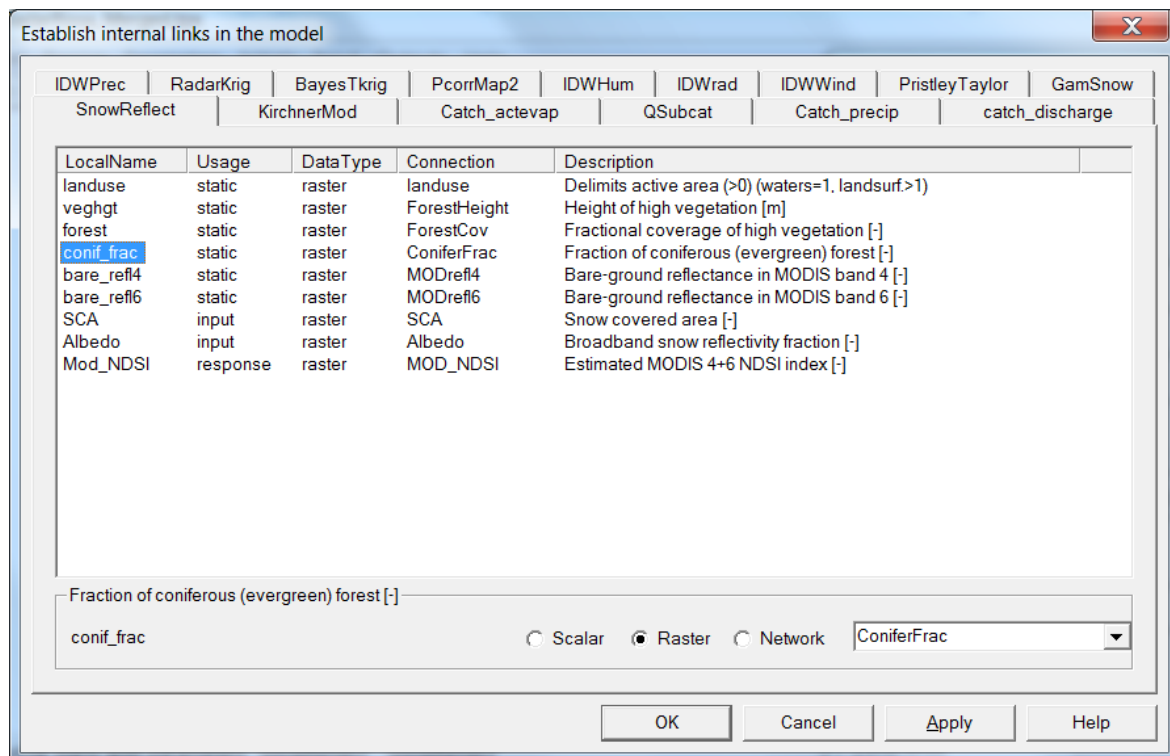
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjons høyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutinene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for SnowReflect.

2 Reflektans fra delvis snødekket mark: SnowReflect

Enki-rutinen SnowReflect er skrevet for evaluering av snømodeller mot fjernmålte satellittdata, med vekt på GamSnow-modellen og MODIS-sensoren.

SnowReflect trenger inngangsdata for snødekningsgrad og snøalbedo, og beregner ut fra dette Normalised Difference Snow Index (NDSI), som er en vanlig indeks for snødekningsgrad SCA.

Nødvendig informasjon for rutinen er kart over arealbruk, skogdekning, vegetasjonshøyde (i skog), andel bartrær og reflektansverdi i MODIS bånd 4 og 6 for barmark. Alle disse er p.t. statiske variable, selv om en godt kan se for seg forbedringer ved å simulere dynamikken i disse.

2.1 Variabelgrensesnitt

Statiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibreringsintervall
Landuse	Static	Valgbar	Dominant land use, code: 0=outside simulation area, 1=lakes, 2=other surface.	Kalibreres ikke
Veghgt	Static	Valgbar	Høyde på trekronedekke (skog) [m]	Kalibreres ikke
Forest	Static	Valgbar	Andel skogdekning [-]	Kalibreres ikke
Conif_frac	Static	Valgbar	Andel barskog i skogdekket område [-]	Kalibreres ikke
Bare_refl4	Static	Valgbar	Barmarks-reflektans ved 0.5-0.6 μm bølgelengde (grønt lys, MODIS-B4, TM-B2)	Kalibreres ikke
Bare_refl6	Static	Valgbar	Barmarks-reflektans ved ca 1.64 μm (Infrarødt lys, MODIS B6, TM B5)	Kalibreres ikke

Dynamiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	
SCA	Input	Valgbar	Andel snødekket areal [-]	
Albedo	Input	Valgbar	Bølgelengde-integrert reflektans, indeks for snøoverflatens alder eller kornstørrelse [-]	
MOD_NDSI	Response	Valgbar	NDSI fra delvis snødekket mark beregnet fra snødekningsgrad, kornstørrelse og skogegenskaper.	

2.2 Kalibrering:

SnowReflect har ingen parametre som anbefales kalibrert. De tre skog-parameterne karakteriserer trekronedekket over snøpakka, som påvirker både lysforhold og reflektert stråling fra snødekket under. Conif_frac er andelen barskog i skogen, dvs at andel barskog i ei gridrute fremkommer ved å multiplisere Conif_frac med Forest. Veghgt er virkelig trehøyde, ikke den ruhetsregulerende veghgt som forekommer i fordampningsrutiner.

De to reflektansparameterne anbefales estimert fra satellittbilder utenfor snøsesong, eventuelt brukes vegetasjons/markslagskart og tabellverdier. En kunne tenke seg disse to parameterne gjort til inngangsvariable eller tilstander for å fange opp temporære variasjoner, dette er ikke implementert i SnowReflect.

2.3 Bruk

SnowReflect estimerer Normalised Difference Snow Index ut fra snødekningsgrad og snøens albedo. Den er skrevet for å styrke evaluering, oppdatering og kalibrering av fordelte snømodeller ved hjelp av fjernmålte data. Hensikten med å simulere NDSI fra SCA, snarere enn å konvertere fjernmålt NDSI til SCA og sammenligne SCA er flere, men den viktigste er å samle all modellusikkerhet på den ene siden av sammenligningen, og evaluere mot så direkte målte data som mulig. En slipper også trunkeringen ved 0 og 1, som både fjerner informasjon og er opphav til svært skjeve fordelinger ved statistisk analyse.

Albedo er et viktig inngangssignal fordi den ikke er noe annet enn bølgelengde-integrert reflektans. Albedo og bølgelengde i infrarødt område henger tett sammen med kornstørrelse, og internt i rutinen brukes albedo for å estimere kornstørrelse, som igjen bestemmer snøreflektans. Kornstørrelsen er i sin tur avhengig av snøoverflatens alder.

Referansen til MODIS 4 og 6 er ikke annet enn navn på bølgelengde-bånd. Modellen inneholder estimater for snø-reflektans tilpasset MODIS' avgrensning av disse båndene, men tilpasningen er omtrentlig og bør være overførbar til andre satellitter. Eventuelt krever det bare en mindre justering å optimalisere rutinen for NDSI-estimerer definert fra bånd i eksempelvis Landsat ETM+ eller NOAA AVHRR. Sammenhengen mellom kornstørrelse r og reflektans α er modellert ved (Painter et al, 2009):

$$\alpha = 1 - A_i \cdot r^{B_i}$$

Her er i indeks for bølgelengde. Painter et al (2009) oppgir parameterverdier for A og B avhengig av solhøyde, gjengitt i tabell 1. SnowReflect bruker gjennomsnittet mellom verdiene for de to solhøydene.

Tabell 1: Parameterverdier i reflektansmodellen. Etter Painter et al, 2009.

	30 ° innfallsvinkel		60 ° innfallsvinkel	
Wavelength	A	B	A	B
Visible	0.0040	0.4730	0.0029	0.4791
All solar wavelengths	0.0765	0.2205	0.0648	0.2258
Near-infrared	0.2025	0.1791	0.1689	0.1906

Beregning av gridcelle-reflektans i hver bølgelengde skjer ved enkel lineær kombinasjon av reflektans for snøoverflata, reflektans fra barmark, og snødekningsandelen.

3 Referanser:

Painter, T. H., K. Rittger, C. McKenzie, P. Slaughter, R. E. Davis and J. Dozier (2009): Retrieval of subpixel snow covered area, grain size, and albedo from MODIS. Remote Sensing of Environment vol 113, p. 868-879.

Notat

ENKI-rutine: SumCatchments

SAKSBEHANDLER / FORFATTER

Kolbjørn Engeland, Sjur Kolberg

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Energi Norge

Styringsgruppa for ENKI-operasjonaliseringsprosjektet

www.opensource-enki.org

PROSJEKTNR / SAK NR
12x855**DATO**
2016-02-24**GRADERING**
Åpen

Contents

1	Generelt om metodebeskrivelse	2
2	Aggregering av tilsig i kjedete delfelt; SumCatchments	3
2.1	Kalibrering:	3
2.2	Bruk:	3

1 Generelt om metodebeskrivelse

Alle metoder/rutiner i ENKI inneholder variable som må kobles opp. Programmet Regmodel.exe lister disse opp som illustrert i figur 1. Enki klassifiserer variable i fem typer etter funksjon: *Static*, *parameter*, *input*, *response* eller *state*. Denne klassifiseringen er ikke bruker-valgbar, det samme gjelder rutinens interne navn på variabelen ("LocalName"), som står i første kolonne i figur 1.

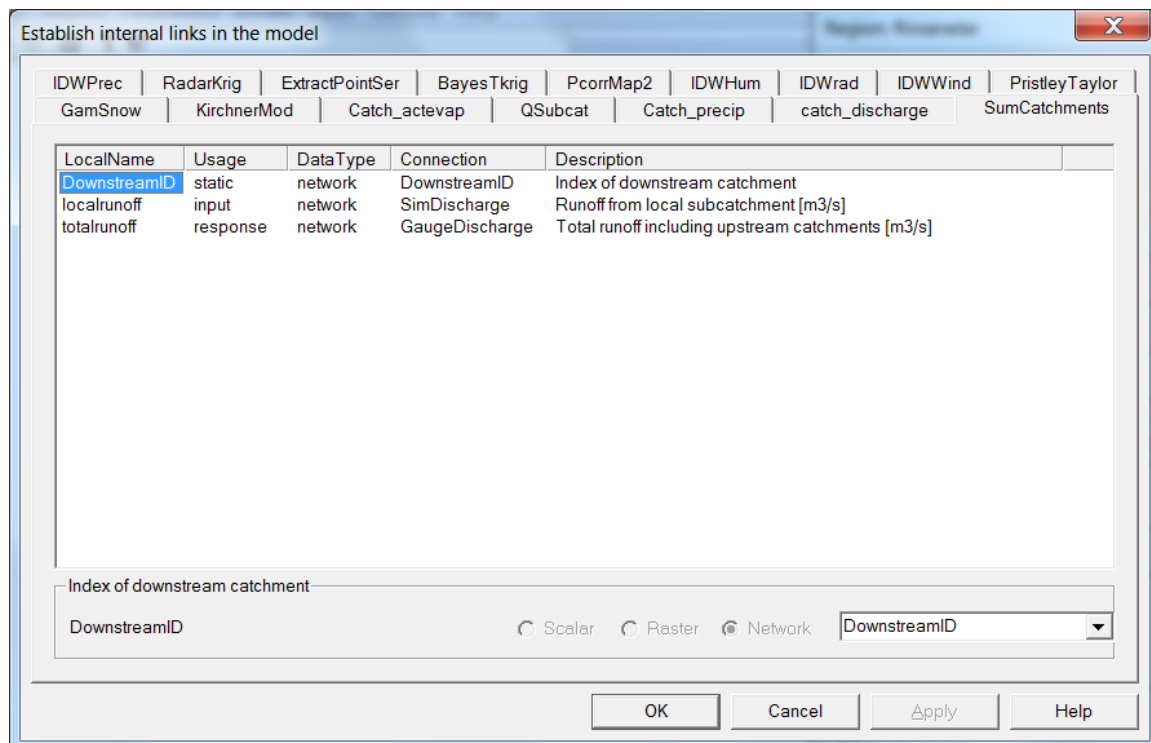
Static og *Parameter* er variable som ikke varierer i tid, *static* heller ikke ved kalibrering. Typiske *static*-variable er GIS/kartdata som høyde over havet, arealbruk, stasjons høyder etc. En *parameter* regnes som kalibreringskonstant dersom den også er skalar (se under), hvis ikke er den i praksis ekvivalent med en *static*. Fordelte *parameter*- og *static*-variable krever at GIS-datasett er tilgjengelige ved oppsett.

Input, *state* og *response* er variable som varierer i tid. En *input*-variabel må kobles slik at den ved hvert tidsskritt får en ny verdi enten fra input-tidsseriedatabasen, eller fra en tidligere rutine. En *state*-variabel krever en initialiseringsverdi for første tidsskritt, mens en *response* ikke trenger eksterne data.

For hver variabel i subrutinen må brukeren angi geometri (*Data Type*) og et nytt navn (*Connection*). Variable fra ulike rutiner som får samme *Connection* vil i Enki bli én og samme variabel, og med det skape kommunikasjon mellom rutinene i modellen. Datatype er i noen tilfeller låst, vanligere er krav til konsistens mellom ulike fordelte variable. Lovlige datatyper er skalar, nettverk eller raster:

- *scalar* er en enkelt verdi, vanligvis uten lokalisering; som oftest en kalibreringskonstant.
- *network* er en samling lokaliteter med geografiske koordinater (f.eks. et stasjonsnettverk)
- *raster* er et griddet kart med verdier for hver rute eller celle.

Enki-rammeverket har ingen oppfatning av hvilke navn ulike variable bør ha, hvilke variable det gir mening å koble sammen, eller hvilke rutiner og variable som må representeres i en komplett modell.



Figur 1: Eksempel på rutineoppsett for SumCatchments

2 Aggregering av tilsig i kjedete delfelt; SumCatchments

Enkis rutiner for å samle gridrute-avløpsproduksjon til delfelt-avrenning simulerer i utgangspunktet tilsig til lokalfelt. Dette korresponderer med et delfelt-kart som består av gjensidig utelukkende områder, men betyr at en for nedstrøms felt må beregne observert lokaltilsig som en differanse mellom to målte serier for å kunne sammenligne med simulert verdi.

SumCatchments følger vannet nedstrøms og aggregerer opp tilsig, slik at vannføringen ut fra hvert felt er summen av lokalfeltets og alle oppstrøms felts avløp. Dermed kan en hver målestasjon sammenligne simulert tilsig med det som faktisk måles på stedet, og ikke en beregnet lokalfelt-differanse. Haken ved dette er at et oppstrøms delfelt bidrar til mange simulerte serier, og dermed at det under kalibrering kan få uforholdsmessig stor vekt sammenlignet med nedstrøms lokalfelt.

Nødvendig informasjon for rutinen er punktkart som for hvert delfelt angir nedstrøms nabo, det vil si det større feltet som vannet renner inn i. Rutinen vil på dette grunnlaget finne fram til hvilken rekkefølge feltene må simuleres i, for at hvert vassdrag skal aggregeres fra oppstrøms til nedstrøms.

Statiske variable				
Local name	Usage	Data type	Description	Foreslått verdi og kalibreringsintervall
DownstreamID	Static	Nettverk	ID for nedstrøms dreneringsfelt	Kalibreres ikke

Dynamiske variable			
Local name	Usage	Data type	Description
Localrunoff	Input	Nettverk	Observert vannføring [m ³ /s]
Totalrunoff	Input	Nettverk	Simulert vannføring [m ³ /s]

2.1 Kalibrering:

Rutinen inneholder ingen parametre som skal kalibreres.

2.2 Bruk:

SumCatchments inneholder ingen routing-rutine, det vil si at det ikke skjer noen forsinkelse eller dempning av vannføring fra et oppstrøms delfelt til feltene lenger nede. Med andre ord simuleres det akkumulerte tilsiget til nedstrøms felt som om dette feltet ikke var delt i mindre delfelt.