

# Estimering av avrenning i umålte felt ved bruk av kartkorrelasjonsmetoden med kovariabler

**Erlend K Gjestemoen**

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2014

Hovedveileder: Knut Alfredsen, IVM

Medveileder: Mulugeta Zelelew, IVM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for vann- og miljøteknikk



# Forord

Oppgaven er skrevet som avsluttende del av mitt studium ved Bygg- og miljøteknikk på NTNU. Arbeidet er utført ved Institutt for vann- og miljøteknikk og omhandler bruk av kartkorrelasjonsmetoden for å finne avrenning fra umålte felt.

Bruken av fordypningsemnet høsten 2013 til å gjennomgå kartkorrelasjonsmetoden økte interessen min rundt emnet, og jeg er glad for å ha arbeidet med noe jeg har opplevd som interessant.

Arbeidet til Mulugeta B. Zelelew, utført under hans tid som ph.d.-kandidat ved Institutt for vann- og miljøteknikk har fungert som et utgangspunkt for dette studiet. Jeg vil gjerne takke Mulugeta for god veiledning og spesielt tilgang til hans script som har vært uvurderlig for denne oppgaven.

Arbeidet har vært utført med vannføringsdata og ellers samarbeid med NTE. Takk til NTE ved Arnt Bjøru for samarbeid og tilgang til gode data.

Rollen som hovedveileder har Professor Knut Alfredsen innfridd til fulle. Tusen takk for gode og raske svar, til alle tider.

Det er også på sin plass, til slutt, å takke familie og venner. Dere er de beste.

Jeg erklærer herved at denne rapporten er skrevet av meg selv, at alt arbeid utført i forbindelse med masteroppgaven er mitt eget, sett bort fra der annet er spesifisert med kilder og referanser i teksten.

Trondheim, 5. juni 2014

-----  
Erlend K Gjestemoen



# Abstract

Prediction of ungauged basins often requires the use of a reference catchment to transfer properties of its stream flow time series to the ungauged catchment. That makes identification and selection of reference catchments one of the most important challenges within prediction of ungauged basins. In 2010, a new method for selecting reference catchments was introduced by the name map correlation method. The purpose of this study has been to evaluate the predictions of the map correlation method for ungauged basins in Nord-Trøndelag, and compare the results with the traditional method.

The map correlation method assumes that hydrologic correlation structures can be found in a geographic area with stream flow gauges, and that this can improve the selection of reference catchments. To estimate the correlation values with all reference catchments for the ungauged basins, a geostatistical method called kriging is used. In this study, topographic and climatic variables are included as supplement to the lack of hydrological correlation data with the ungauged basins. This is done to improve the predictions, as well as to increase the physical understanding of the correlation structures, and requires implementing of ko-kriging.

Seven out of 13 catchments are given different reference catchments for the multivariable map correlation method compared to the traditional method. From those seven catchments, stream flow data are at hand for only five, and all five share the fact that the map correlation method has found catchments with lower correlation coefficient than the traditional method. For all five time series the scaled reference catchment given from the map correlation method perform worse, compared to the traditional method. The map correlation method without inclusion of co-variables, selected different reference catchments for only two out of 13 basins. For both, it is selected a catchment with lower correlation coefficient. In four of the five cases where the map correlation method performs worse, the reference catchments selected are ko-kriged with the same variable, which is recognized by uncertainty in its definition. By exclusion of such reference catchments from the sample, the map correlation method selects better catchments compared to the traditional method.

The conclusion of the study is that the map correlation method, the way it is done in this study, predicts the ungauged basins worse than the traditional method. The co-variables used affect the prediction negatively, which in certain cases make huge impact for prediction of stream flow time series. However, the study reveals hydrologic correlation structures that improve the understanding of the region's hydrologic patterns, and as so, it is recommended to use Nord-Trøndelag and the results from this study for future investigation of the map correlation method.



# Sammendrag

Estimering av umålte felt tar ofte i bruk referansefelt for å overføre egenskaper ved vannføringsserien til det umålte feltet. Derfor er det en av de viktigste utfordringene innen estimering av umålte felt, å identifisere og finne gode referansefelt. I 2010 ble en ny metode for å finne skaleringsfelt, kalt kartkorrelasjonsmetoden, introdusert. Formålet med denne oppgaven har vært å vurdere kartkorrelasjonsmetodens evne til å estimere umålte felt i Nord-Trøndelag, og sammenligne den med den tradisjonelle metoden.

Kartkorrelasjonsmetoden antar at det i et nettverk av målte vassdrag i et geografisk område, kan kartlegges hydrologiske korrelasjonsstrukturer, som gir et forbedret grunnlag for å velge skaleringsfelt for umålte felt. For umålte felt i området tas i bruk en geostatistisk interpolasjonsmetode kalt for kriging, for å estimere korrelasjonsverdien med hvert referansefelt. I dette studiet er kartkorrelasjonsmetoden utvidet med topografiske og klimatiske kovariabler, og såkalt ko-kriging, for å supplere manglende vannføringsdata med data som gir økt fysisk forståelse av korrelasjonsstrukturene.

Av 13 undersøkte felt i studiet finner kartkorrelasjonsmetoden med kovariabler annet skaleringsfelt enn den tradisjonelle metoden for syv av dem. Av de syv finnes vannføringsdata for fem og felles for alle er at korrelasjonsdata viser at kartkorrelasjonsmetoden har funnet felt med lavere korrelasjonsverdi enn den tradisjonelle metoden. De estimerte seriene fra feltene som er funnet ved kartkorrelasjonsmetoden presterer dårligere enn de fra den tradisjonelle metoden, for samtlige fem felt. Uten inkludering av topografiske og klimatiske variabler, velger metoden ulike skaleringsfelt for kun to av 13 felt. For begge er det til felt med lavere korrelasjon. For fire av fem felt hvor kartkorrelasjonsmetoden estimerer dårligere, har metoden funnet skaleringsfelt som har brukt lik kovariabel under ko-kriging, med høy grad av usikkerhet i bestemmelsen av verdi. Ser man bort fra referansefelt som har brukt denne variabelen finner kartkorrelasjonsmetoden bedre felt, også sammenlignet med tradisjonell metode.

Konklusjonen av studiet er at kartkorrelasjonsmetoden, slik den er utført i dette studiet, gir dårligere estimering av umålte felt enn tradisjonell metode. Kovariablene som er brukt har en negativ innvirkning på estimeringen av korrelasjon, og gir i enkelttilfeller ved valg av skaleringsfelt, store negative konsekvenser. Metoden kartlegger likevel hydrologiske strukturer som øker forståelsen av avrenningen i området og det anbefales å bruke Nord-Trøndelag og studiets resultater for videre undersøkelser av kartkorrelasjonsmetoden.





# Innhold

<b>Forord</b> .....	<b>i</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>iii</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>v</b>
<b>Innledning</b> .....	<b>1</b>
1.1    Bakgrunn .....	1
1.2    Studiets formål.....	2
1.3    Rapportens struktur.....	2
<b>Teorigrunnlag</b> .....	<b>3</b>
2.1    Grunnleggende teori om hydrologi i et nedbørsfelt.....	3
2.2    Estimering av avrenning i umålte felt.....	6
2.3    Kartkorrelasjonsmetoden.....	11
2.4    Anvendt statistisk teori .....	17
<b>Data</b> .....	<b>21</b>
3.1    Innsamling av data.....	21
3.2    Presentasjon av data.....	23
3.3    Analyse av data.....	29
<b>Metode</b> .....	<b>35</b>
<b>Fremgangsmåte</b> .....	<b>39</b>
5.1    Kartkorrelasjonsmetoden.....	39
5.2    Tradisjonell skalering .....	50
<b>Resultater</b> .....	<b>63</b>
6.1    Metodenes valg av skaleringsfelt .....	63
6.2    Feltvis sammenligning av skaleringsresultater.....	67
6.3    Kartkorrelasjonsmetoden.....	88
<b>Diskusjon</b> .....	<b>101</b>
7.1    Feilkilder.....	101
7.2    Studiets begrensninger.....	102
7.3    Kartkorrelasjonsmetoden.....	103
<b>Konklusjon</b> .....	<b>105</b>
<b>Bibliografi</b> .....	<b>107</b>
<b>Vedlegg</b> .....	<b>111</b>
<b>A    OppgavebeskrivelseNTNU</b> .....	<b>113</b>

<b>B</b>	<b>Komplette hydrogram.....</b>	<b>117</b>
<b>C</b>	<b>Prediksjonskart .....</b>	<b>133</b>
<b>D</b>	<b>Variogramparametere for kriging.....</b>	<b>147</b>
<b>E</b>	<b>Fullstendige korrelasjons- og prediksjonsresultater.....</b>	<b>149</b>
<b>F</b>	<b>Pythonmodellen for TWI.....</b>	<b>153</b>
<b>G</b>	<b>Script for R .....</b>	<b>155</b>
<b>H</b>	<b>Eksempler av filformat .....</b>	<b>189</b>

# Figurer

Figur 2.1: Skisse for prosessene for markvann (Alfredsen, 2010).....	6
Figur 2.2: Tilordning av variogram-sky til intervaller .....	12
Figur 2.3: Tilpasset variogram-modell til empirisk variogram .....	14
Figur 2.4: Estimert korrelasjon for studieområdet for felt nr.1 Lavvatn.....	14
Figur 2.5: Varighetskurve for Moen .....	19
Figur 2.6: Eksempel på varighetskurve, sum lavere og slukeevne (Væringstad, 2010) .....	20
Figur 3.1: Kart med studiefelt .....	23
Figur 3.2: Dataperioder for NTE-felt .....	25
Figur 3.3: Kart med alle felt i studiet .....	26
Figur 3.4: Dataperioder for referansestasjonene .....	28
Figur 3.5: Distanse- og korrelasjonsoversikt for NTE-felt .....	31
Figur 3.6: Fordeling av feltareal.....	32
Figur 5.1: Flytskjema for kartkorrelasjonsmetoden .....	40
Figur 5.2: Flytskjema for å finne elvelengde i ArchHYDRO .....	43
Figur 5.3: Python-modell for TWI .....	44
Figur 5.4: Kartutsnitt fra beregnet TWI for Grongstadvatn .....	45
Figur 5.5: Distanse og korrelasjon for tolv referansefelt .....	47
Figur 5.6: Korrelasjon mellom primærvariabel og kovariablene Cr og Dd for Skjellbreivatn .....	49
Figur 5.7: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Bøla.....	51
Figur 5.8: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Ekorndalselva .....	52
Figur 5.9: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Fiskløysa.....	53
Figur 5.10:Kartutsnitt fra NVE Atlas for Flåttadal .....	53
Figur 5.11: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Hellifoss.....	54
Figur 5.12: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Kjerråa .....	55
Figur 5.13: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Navlusfoss .....	56
Figur 5.14: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Saksvatn.....	57
Figur 5.15: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Sandvasselva.....	58
Figur 5.16: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Sandvasselva og nordover .....	58
Figur 5.17: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Trongfossen .....	59
Figur 5.18: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Vesteråa .....	60
Figur 5.19: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Vølsetelva .....	61
Figur 6.1: Oversikt over beste skaleringsfelt fra kartkorrelasjonsmetoden for hele studieområdet .....	64
Figur 6.2: Hydrogram for Vølsetelva med skalerte serier.....	68
Figur 6.3: Varighetskurver for Vølsetelva og skalerte serier .....	69

Figur 6.4: Hydrogram for Vesteråas medianår med skalerte serier .....	70
Figur 6.5: Varighetskurver for Vesteråa og skalerte serier .....	71
Figur 6.6: Hydrogram for Storåselva med skalerte serier .....	73
Figur 6.7: Varighetskurver for Storåselva og skalerte serier .....	74
Figur 6.8: Hydrogram for Sandvasselva med skalerte serier .....	75
Figur 6.9: Varighetskurver for Sandvasselva og skalerte serier.....	76
Figur 6.10: Hydrogram for Navlusfoss' medianår med skalerte serier .....	77
Figur 6.11: Varighetskurver for Navlusfoss og skalerte serier .....	78
Figur 6.12: Hydrogram for Kjerråas medianår med skalerte serier .....	79
Figur 6.13: Varighetskurver for Kjerråa og skalerte serier .....	80
Figur 6.14: Hydrogram for Hellifoss' medianår med skalerte serier.....	81
Figur 6.15: Varighetskurver for Hellifoss og skalerte serier.....	82
Figur 6.16: Hydrogram for Ekorndalselvas medianår med skalerte serier .....	83
Figur 6.17: Varighetskurver for Ekorndalselva og skalerte serier .....	84
Figur 6.18: Hydrogram for Bølas medianår med skalerte serier.....	85
Figur 6.19: Varighetskurver for Bøla og skalerte serier.....	86
Figur 6.20: Komplette distanse- og korrelasjonsoversikt for referansefeltene .....	89
Figur 6.21: Oversikt over kovariablenes størrelse .....	92
Figur 6.22: Oversikt over kovariablenes korrelasjon med primærvariabelen .....	93
Figur 6.23: Prediksjonskart for nr. 20 Øyungen. Cr brukt som kovariabel.....	97
Figur 6.24: Prediksjonskart for nr. 11 Landbru limn. Rr brukt som kovariabel .....	97
Figur 6.25: Prediksjonskart for nr. 25 Veravatn. Dd brukt som kovariabel.....	98
Figur 6.26: Prediksjonskart for nr. 10 Første Aunvatn. TWI brukt som kovariabel.....	98
Figur 6.27: Prediksjonskart for nr. 21 Stordalsvatn. WI brukt som kovariabel. ....	99

# Tabeller

Tabell 3-1: Nøkkeldata for studiefeltene.....	24
Tabell 3-2: Nøkkeldata for referansefelt .....	27
Tabell 6-1: Valg av skaleringsfelt .....	65
Tabell 6-2: Skaleringsresultater for Vølsetelva.....	69
Tabell 6-3: Skaleringsresultater for Vesteråa .....	72
Tabell 6-4: Skaleringsresultater for Storåselva .....	74
Tabell 6-5: Skaleringsresultater for Sandvasselva .....	76
Tabell 6-6: Skaleringsresultater for Navlusfoss .....	78
Tabell 6-7: Skaleringsresultater for Kjerråa .....	80
Tabell 6-8: Skaleringsresultater for Hellifoss .....	82
Tabell 6-9: Skaleringsresultater for Ekorndalselva .....	84
Tabell 6-10: Skaleringsresultater for Bøla .....	86
Tabell 6-11: Kovariabler for studiefeltene .....	90
Tabell 6-12: Kovariabler for referansefeltene .....	91
Tabell 6-13: Korrelasjon mellom alle kovariabler og primærvariabelen for alle felt .....	94
Tabell 6-14: Gjennomsnittlig absolutt feilestimering ved kriging(OK) og ko-kriging(OcK)	100



# Kapittel 1

## Innledning

### 1.1 Bakgrunn

Gode vannføringsdata og prediksjoner er viktige i all planlegging av bruk av vannressurser. I Norge fins mye tilgjengelig vannføringsdata med lange dataserier spredt over hele landet, men det er likevel ikke relevant å plassere målestasjoner i alle norske nedbørsfelt med interesser for bruk av vann. Det gjør det nødvendig med effektive metoder for å estimere vannføring i umålte felt. Fram til i dag har det vært vanlig å areal- og avrenningsskalere i forhold til det nærmeste, eller et av de nærmeste målte feltene med like feltegenskaper, for å skaffe estimater av vannmengdene i det aktuelle nedbørsfeltet. I denne oppgaven introduseres en ny metode for å foreta valg av skaleringsfelt.

Den store framveksten av småkraftprosjekter i Norge gjør utfordringene rundt sikre estimeringsmetoder av umålte felt høyaktuelle. Små felt har ikke vært prioritert for målestasjoner tidligere og derfor fins det lite data tilgjengelig for sikker estimering av små felt. Noe som karakteriserer småkraftprosjekter i Norge i dag i stor grad, er at de er marginale og mange har blitt aktuelle på grunn av subsidier gjennom såkalte grønne sertifikater. Det betyr at sikre vannføringsestimater er fundamentale, da feile estimater enten kan skrinlegge lønnsomme prosjekter eller føre til feilinvesteringer i kraftverksinstallasjoner.

Også internasjonalt er det fokusert mye på nye og alternative metoder for estimering av umålte felt, blant annet på grunn av et enormt bruksområde, spesielt i den utviklende delen av verden (Sivapalan, et al., 2003). Ett resultat av forskningen på området er presentert som kartkorrelasjonsmetoden. Med denne har man påvist at det ikke alltid er det nærmeste vannmerket som gir de beste avrenningsestimaterne (Archfield & Vogel, 2010) (Zeleelew & Alfredsen, 2014). Metoden forbedrer grunnlaget for valg av skaleringsstasjon ved estimering av avrenning i umålte felt og har i tidligere studier gitt bedre vannføringsestimater enn den tradisjonelle metoden.

Prosjektoppgaven utført høsten 2013 gjennomgikk teori for kartkorrelasjonsmetoden og klargjorde data for studiet, og har fungert som utgangspunkt for masteroppgaven (Gjestemoen, 2013). De to rapportene er å se på som to forskjellige dokument.

## **1.2 Studiets formål**

Hovedformålet med studiet er å undersøke om kartkorrelasjonsmetoden gir forbedret estimering av vannføring i 13 nedbørsfelt i Nord-Trøndelag i forhold til den tradisjonelle skaleringsmetoden. Basert på de to ulike metodenes valg av skaleringsfelt vil de skalerte dataseriene sammenlignes med korte målte serier fra feltene. Om kartkorrelasjonsmetoden gir bedre vannføringsprediksjoner og bør brukes, vil bli drøftet i oppgaven.

Et biformål med oppgaven er at den skal kunne brukes senere som verktøy for andre som vil ta kartkorrelasjonsmetoden i bruk. Det har vært viktig å presentere gangen i metoden slik at den fremstår som forståelig og kan fungere som en oppskrift for andre.

Oppgaven er berammet til å undersøke kartkorrelasjonsmetodens estimeringsevne for 13 nedbørsfelt i Nord-Trøndelag med hensyn på fem bestemte variabler i tillegg til vannføringsdata, og sammenligne den med tradisjonell skalering

## **1.3 Rapportens struktur**

Oppgaven er delt inn i åtte kapitler.

I kapittel to vil den grunnleggende teorien om hydrologi i nedbørsfelt og avrenning i umålte felt som er relevant for oppgaven bli oppsummert. Kartkorrelasjonsmetoden med ko-kriging vil bli presentert og relevant litteratur er referert.

Data som er inkludert i studiet blir omhandlet i kapittel tre. Studieområdet blir presentert og data blir kvalitetsvurdert. Kapittel fire beskriver metoden som er brukt i studiet for å kunne gjøre kvalifiserte vurderinger av kartkorrelasjonsmetoden.

Kapittel fem er en detaljert fremgangsmåte for bruk av kartkorrelasjonsmetoden. Den er lagt opp som en nøye gjennomgang for senere bruk andre steder i landet, for å tilfredsstille oppgavens biformål. Kapitlet inneholder også en kortere fremgangsmåte for den tradisjonelle metoden for studiefeltene.

Resultater av metodenes valg av skaleringsfelt, sammen med deres estimering av de umålte feltene er presentert i kapittel seks. Videre blir resultatene diskutert og drøftet i kapittel syv.

Konklusjonen av studiet finnes i kapittel åtte.



# Kapittel 2

## Teorigrunnlag

Dette kapitlet dekker teorien bak hydrologi i nedbørsfelt, estimering av avrenning i umålte felt, kriging og ko-kriging samt noe statistisk teori. Relevant litteratur er funnet i lærebøker og gjennom søk på internett. Noen artikler er blitt tilsendt fra professor og veileder Knut Alfredsen.

### 2.1 Grunnleggende teori om hydrologi i et nedbørsfelt

#### 2.1.1 Grunnleggende fysiske prinsipper i et lukket system

Grunnleggende for hydrologi, som all annen geofysisk lære, er et utvalg fysiske lover (Dingman, 2002). Bevaringsloven av masse og termodynamikkens hovedsetninger er sammen med Ficks- og Newtons lover, fundamentale i forståelsen av læren om vann.

Loven om konstant masse:

*Masse kan verken oppstå eller forsvinne*

Termodynamikkens to hovedsetninger:

1. *Energi kan verken oppstå eller forsvinne*
2. *Ingen prosess er mulig hvor all varme kan brukes til arbeid*

Ficks første diffusjonslov:

*Diffusjonsstrøm går i retning fra høy til mindre konsentrasjon i størrelse som er proporsjonal med konsentrasjonsgradienten.*

Newtons bevegelseslover:

1. *Et legeme som ikke utsettes for ytre krefter forblir i ro eller i en rettlinjert bevegelse med konstant fart.*
2. *Akselerasjonen til et legeme er direkte proporsjonal med resultantkraften som virker på legemet og omvendt proporsjonal med legemets masse.*
3. *Om to legemer påvirker hverandre, er kraften som virker fra det første legemet på den andre like stor og motsatt rettet til kraften som virker fra det andre legemet mot den første.*

Alle hydrologiske utredninger har sitt utgangspunkt i en eller flere av disse lovene (Dingman, 2002).

Et *system* er definert som et sett av avhengige og relaterte komponenter som utformer en sammenhengende helhet (Killingtveit og Sælthun, 1995). Videre fra de fysiske lovene bygger mye av hydrologien på systemtenkning, hvor man har et lukket system som vil være underlagt lovene om bevaring av masse og energi. Mengden som kommer inn i systemet fratrukket det som blir ført ut, er lik endringen av mengden i systemet.

Systemene i denne oppgaven er *nedbørsfelt*. Et nedbørsfelt er det arealet som på grunnlag av topografi kan anslås å tilføre alt vann som renner gjennom et gitt tverrsnitt av en elv (Dingman, 2002). Alle nedbørsfelt er begrenset av grensene til andre nedbørsfelt, for eksempel langs høyderygger. Disse grensene blir kalt vannskillere. I denne oppgaven vil synonymene nedslagsfelt og tilsigsområde også bli brukt for nedbørsfelt.

### 2.1.2 Vannbalansen i et nedbørsfelt

Vannføringen i en elv er den delen av innkommende vann i tilsigsfeltet som ikke har blitt fordampet til atmosfæren eller rent som tilsig til grunnvannet i området. For alle nedslagsfelt gjelder følgende formel for vannbalanse over en viss tidsperiode,  $\Delta t$ :

$$P + G_{inn} - (Q + ET + G_{ut}) = \Delta S \quad (2.1)$$

hvor alle variablene er i volum,  $m^3$  eller  $mm/m^2$  (1  $mm/m^2$  tilsvarer 1 liter), og er forklart under.

#### **Nedbør, $P$**

Alt vann som blir tilført landfasen av den hydrologiske syklus er definert som nedbør. Nedbør står for størsteparten av innputt i vannbalansen og er i hovedsak regn og snø.

## **Vannføring, $Q$**

Vannføring,  $Q$ , er den delen av vannet som forlater et nedbørsfelt gjennom et tverrsnitt av en bekk eller elv.

## **Fordamping, $ET$**

$ET$  er forkortelse for evapotranspirasjon, som er en kombinasjon av evaporasjon og transpirasjon. Direkte evaporasjon er vann som forsvinner fra systemet gjennom fordamping av vann fra fast eller flytende form. Transpirasjon er vann som blir fordampet gjennom det vaskulære systemet til planter.

## **Endring i lagret vann, $\Delta S$**

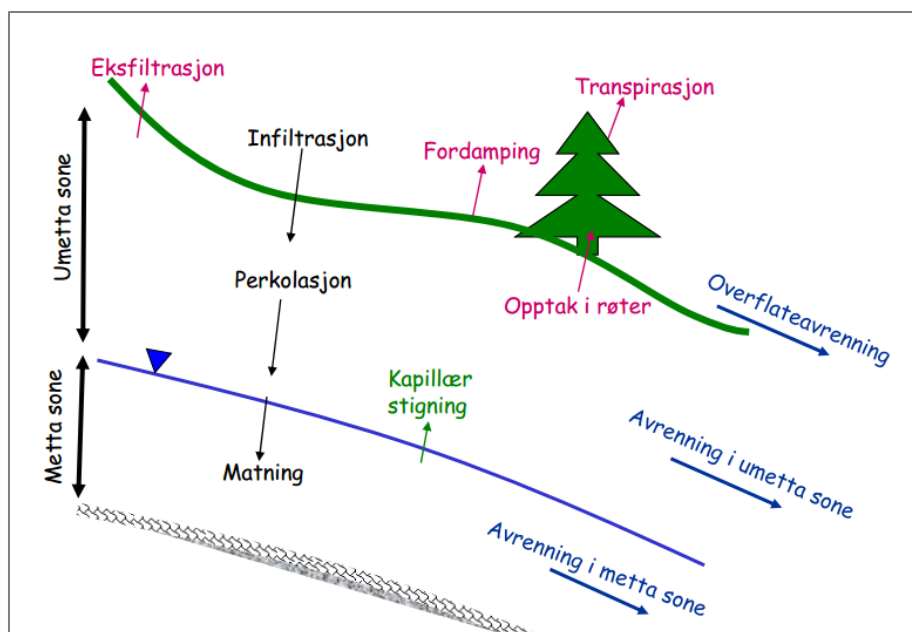
Endringen i mengden vann i fast eller flytende form i feltet. Snø, is og grunnvannslagre kan gi store endringer over ulike tidsintervaller.

## **Grunnvann, $G$**

Grunnvann er definert som alt vann som befinner seg under atmosfærisk eller høyere trykk i mettet sone under jordoverflaten. Det meste av grunnvannet kommer gjennom infiltrert overflatevann.

Siden grunnvann blir drevet av tyngdekraften og nedbørsfelt er topografisk inndelt etter høyder kan  $G_{inn}$  neglisjeres i vannbalanseformelen.  $G_{ut}$  vil av samme årsak være viktigere, men neglisjeres ofte i kartleggingen av de andre variablene.

For en ytterligere forståelse av prosessene vedrørende vann under overflaten er begreper forklart på neste side, sammen med en figur som skisserer prosessene.



Figur 2.1: Skisse for prosessene for markvann (Alfredsen, 2010).

*Infiltrasjon* er bevegelsen av vann fra overflaten og nedover i jorden. Ved store nedbørmengder over kort tid kan *infiltrasjonskapasiteten* til jorden overskrides og vannet vil renne av langs overflaten. Dette kaller vi *overflateavrenning* ved for lav infiltrasjonskapasitet. Siden kaller vi bevegelsen av vann innad i umettet jord for *redistribusjon*. Det er forskjellige typer redistribusjon. *Eksfiltrasjon* er fordamping fra det øverste jordlaget, *kapillære krefter* sørger for at vann kan løftes fra mettet sone, som kalles *grunnvannsspeilet*, og opp i umettet sone. Motsatt kan vann *perkolere*, som er en fellesbetegnelse for vann som beveger seg nedover i *umettet sone*, ned til grunnvannsspeilet og blir en del av grunnvannet i *mettet sone*. I tillegg har vi planter som tar opp vann gjennom røtter, *transpirasjon*, og til sist vann som beveger seg som strømning i umettet sone.

## 2.2 Estimering av avrenning i umålte felt

For umålte felt er vannføringen ukjent og må estimeres. For dette finnes flere metoder. Tidligere var det fokus på kalibrering av empiriske modeller som var basert på fysiske prinsipper i makroskala. Senere er det vist at det ved store nedbørsfelt er heterogene og dynamiske forhold som bestemmer mer av avrenningen (Hrachowitz, et al., 2013). I norsk sammenheng er det i hovedsak skalering som er og har vært benyttet som metode. Den er beskrevet under og vil i hele oppgaven bli omtalt som tradisjonell skalering.

## 2.2.1 Tradisjonell skalering

### Arealskalering

Ren arealskalering av nærmeste vannmerke tar utgangspunkt i like klimatiske, topografiske og geografiske forhold i de to ulike feltene. Den gir  $Q_1$ , vannføring i studert nedbørsfelt, ved å multiplisere skaleringsfeltets vannføring,  $Q_2$ , med arealforholdet mellom feltene,  $A_1$  over  $A_2$ .

$$Q_1 = Q_2 \frac{A_1}{A_2} \quad (2.2)$$

Formel (2.2) er en forenklet metode som kun tar arealforskjell til hensyn i estimeringen. Den er lite brukt i dag, men danner grunnlaget for metoden som brukes.

### Arealskalering med spesifikk avrenning

Gjennom NVEs landsdekkende kart for avrenningsdata har man tilgang på estimerte data for spesifikk avrenning over hele landet med 1 km<sup>2</sup> oppløsning (Beldring, et al., 2002). Spesifikk avrenning er gitt i [mm/år] eller [l / (s · km<sup>2</sup>)] og foreligger som middelverdi i NVEs oversikt.

Formel 2.3 viser metoden som er mest brukt for estimering av umålte felt i Norge. Den bygger på formel 2.2, men multipliserer også med forholdet mellom feltenes spesifikke avrenning,  $F_1$  over  $F_2$ .

$$Q_1 = Q_2 \frac{A_1 \times F_1}{A_2 \times F_2} \quad (2.3)$$

I de fleste tilfeller av tradisjonell skalering vil valget av referansestasjon vurderes etter flere parametere enn kun distanse. Arealforhold, høyeste og laveste kote, effektiv sjøprosent, breandel, snaufjellandel, hydrologisk regime og årsmiddelavrenning er parametere NVE lister opp som relevante i søken etter en god sammenligningsstasjon for hydrologisk analyse for et småkraftverk (Væringstad, 2008). Ved å vurdere parameterne som NVE gir som grunnlag ved valg av sammenligningsstasjon vil usikkerheten i estimeringen reduseres. Spesielt vil fordelingen av vannføring og lavvanns- og flomverdier kunne bli mer nøyaktig. Dette er en metode som er brukt i dagens beregninger av norske kraftselskap (BKK Produksjon AS, 2013) (Småkraft AS, 2013). Det skal presiseres at det ikke nødvendigvis blir brukt statistiske utregninger eller modeller som grunnlag for beslutning, heller en subjektiv vurdering av de vannmerker den enkelte anser som aktuelle.

## 2.2.2 utfordringer med tradisjonell skalering

Estimering av umålte felt er relevant innenfor mange typer vassdragsforvaltning, med vannkraft som en av de største, spesielt i Norge. Det som preger vannkraftbransjen i Norge i dag, er utbygging av småkraft. Som et resultat av innføring av el-sertifikater, som sikrer kraftprodusenter økte inntekter av fornybar energiproduksjon, er det en lang kø av søknader om å bygge ut småkraft hos forvaltningsmyndigheten NVE. I denne sammenhengen er estimering av umålte felt veldig aktuelt. Produksjonsestimatene er sensitive for små endringer i vannføringsmengder og -fordelinger da mange av prosjektene er uten praktisk regulering. Valg av turbin er også sterkt avhengig av vannføringsmønster og representerer en betydelig del av investeringskostnaden i slike prosjekter. Et stadig økende miljøfokus medfører på den annen side at prosjekter kan bli felt som følge av for liten restvannføring i vassdraget. Disse faktorene gjør sikre vannføringsestimater for små felt verdifulle i dagens marked. En årsak til utfordringene er at små nedbørsfelt tradisjonelt ikke har vært prioritert for datainnsamling for vannføring. Store felt har blant annet vært viktigere for flomundersøkelser, som har vært et av NVEs hovedfokus. Nå derimot, som NVE forvalter og er beslutningsmyndighet for spørsmål om konsesjon for småkraft, har fokus på små felt økt, og det er plassert ut flere stasjoner i mindre felt.

Utfordringene med kraftutbygging og estimering av vannføring i mindre felt er at de lar seg vanskelig skalere direkte fra store nedbørsfelt. Det er resultater fra skalering som indikerer at det er egenskaper ved små felt, andre enn de som lett kan tas til hensyn ved f.eks. NVEs beregninger for hydrologisk grunnlag for småkraft, som i stor grad skiller små felt fra store. Disse egenskapene er vanskelige å innbefatte i en skaleringsmetode.

Problematikken med skalering av felt med store arealforskjeller er noe av årsaken til framveksten av alternative metoder for estimering av vannføring fra umålte felt. I tillegg er generelt kriteriene for valg av referansestasjon diffuse, spesielt i tilfeller hvor man ikke har korte serier fra det i utgangspunktet umålte feltet. Ofte brukes noen års måledata for å få et innblikk i feltegenskaper og karakteristiske vannføringer. En slik tilnærming vil selv med kort måleserie redusere usikkerheten i estimatene betydelig. En annen utfordring med skaleringsmetoden kan være dekningsgraden av referansestasjoner. Siden NVE ikke alltid har hatt like stort fokus på små felt er mange kraftaktører avhengig av egne målestasjoner som har stått over lengre tid i sentrale deler av deres kjerneområde. Norsk topografi og klima gjør tradisjonell skalering spesielt krevende med de store irregularetene over store distanser og areal. For en god skalering for alle typer tilsigsfelt ville det vært nødvendig med målestasjoner av et betydelig omfang i alle varianter av størrelse, høydefordeling, arealbruk, klimatyper osv. Det er praktisk vanskelig med så mange målestasjoner og dette baner vei for nye alternative metoder for estimering av vannføring i umålte felt.

For prosjekter hvor det er vanskelig å finne gode representative felt fins det alternative metoder. Man kan ta i bruk hydrologiske modeller som HBV-modellen for steder hvor man har lange inntattserier av nedbør og temperatur, slik som NVE og Meteorologisk Institutt gjør for vannbalansedata (Beldring, 2012). I tillegg til klimatiske data trenger man også inntatt av feltkarakteristika. En forenkling for estimering av umålte felt, som gir stor usikkerhet i estimatene, er direkte interpolering av vannføringsverdier som funksjon av middelavrenningen. Middelavrenningen kan som kjent estimeres, med antatt potensiell usikkerhet på 20 %, fra NVEs avrenningskart (Væringstad & Hisdal, 2005). Videre kan man anta at feltet underligger en kjent klimaregion hvor avrenningsmønsteret gjennom året er kjent. Da får man et estimat av vannføring gjennom året i det umålte feltet, som tar utgangspunkt i en klimatisk styrt hydrologisk respons.

Metoden NVE sin kart-applikasjon LAVVANN bruker for å estimere diverse lavvannsverdier, er regional regresjonsanalyse (Beldring, 2012). For å estimere vannføringen i umålte felt over hele landet har de delt inn i syv ulike «tilstrekkelig» homogene regioner. Det betyr at et umålt felt blir tildelt en region utfra plassering som Krokli viste i 1988 og man kan videre se på feltegenskaper som påvirker vannføring (Væringstad & Hisdal, 2005). Metoden bygger på at ulike feltegenskaper gir ulike effekter på vannføring, og man må utføre en utvelgelse av forklaringsvariabler, eller feltparametere, for å kunne gjøre en god regresjon mot vannføring. Typiske egenskaper som blir vurdert er areal, høydefordeling, arealfordeling av dyrket mark, bre, sjø, myr, urban, elvelengde og elvegradient. Regional regresjon, som brukt i lavvannsapplikasjonen, gir i snitt like gode resultater som for bruk av referansestasjon, men er mindre arbeidskrevende og mer objektiv (Beldring, 2012).

### **2.2.3 Internasjonal forskning på umålte felt**

Avrenning fra umålte felt er ansett som et viktig forskningsfelt internasjonalt (Sivapalan, et al., 2003). International Association of Hydrological Sciences (IAHS) definerer estimering av umålte felt i tre ulike komponenter; a) en modell som beskriver de viktigste prosessene, b) parametere for de egenskapene til landskapet som omhandler viktige prosesser og c) riktige meteorologiske data som inntatt for den hydrologiske responsen til feltet (Sivapalan, et al., 2003). Ingen av de tre komponentene er kjente verdier. Usikkerhet er tilknyttet fastsettingen av alle tre komponentene og man oppnår kun gode estimater ved å minimalisere usikkerheten i alle mulige ledd.

Dette var grunnlaget for tiårssatsingen til IAHS som startet i 2003. Da tok organisasjonen initiativ til å starte ti år med forskningsfokus på estimering av umålte felt med prosjektet «IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins: 2003-2012.» Selv om perspektivet for denne satsingen er forbi, er fokuset fortsatt sterkt og det kommer stadig nye publikasjoner innenfor temaet (Hrachowitz, et al., 2013).

Da satsingen startet i 2003 hadde IAHS fem uttalte mål ved den. (Sivapalan, et al., 2003)

1. Programfeste feltundersøkelser i forskningsfelt i forskjellige klimatiske deler av verden.
2. Øke den generelle oppfattelsen av viktigheten av gode data. Spesielt vise hvordan målrettede målinger av hydrologiske variabler bidrar til reduksjon av usikkerhet for vannressursforvaltning verden rundt.
3. Forbedre evnen til å gjøre estimeringer av umålte felt verden rundt. Først og fremst ved hjelp av lokal kunnskap til klimatiske og topografiske effekter på hydrologi, men også med tilgang til nye datakilder for å redusere usikkerhet i estimeringen.
4. Videreutvikle hydrologi som vitenskap, inkludert hvordan klima og landskap med menneskeskapte endringer påvirker den naturlige variasjonen i hydrologi.
5. Være med å fremme oppbygging av riktig vitenskap og teknologi i de underutviklede deler av verden.

Tiårssatsingen ble avsluttet ved et symposium i Delft i oktober 2012 og er oppsummert ved Hrachowitz, et al., (2013). Prosjektet bærer preg av et enormt omfang innen alle aspekter av estimering av umålte felt. Spesielt har det vært fokusert på hvordan usikkerheten i alle ledd fra datainnsamling til estimering kan reduseres. I det følgende oppsummeres kort det som er ansett som de viktigste resultatene av tiårets forskning.

Fra et globalt perspektiv er det ansett at, innskrenkende finansielle midler til landbasert datainnsamling til tross, ny og bedre radar- og satellitteknologi kan bedre kvaliteten og tilgjengeligheten av klimadata (Hrachowitz, et al., 2013). Det er også funnet betydelige nyvinninger innen bakkebasert datainnsamling de siste ti årene, blant annet innen vannføringsmåling (Hilgersom & Luxemburg, 2012) (Tauro, et al., 2012) og trådløs overføring av data (Bogena, et al., 2007) (Trubilowicz, et al., 2009) som er regnet med å bedre kvaliteten og tilgangen på data, og dermed forbedre estimering av umålte felt.

Et av hovedresultatene fra tiårssatsingen kommer av en rekke dybde- og sammenligningsstudier av felt og økt fokus på deres særegenheter (Hrachowitz, et al., 2013). Det har gitt innblikk i, og satt fokus på, felts heterogene, dynamiske egenskaper, og gitt en økt forståelse av prosessene som bestemmer hvordan vann flyter gjennom et nedbørsfelt. Detaljfokuset på feltenes særegenheter har kartlagt, og bidratt til en økt forståelse og bevisstgjøring, av systemer som i sin natur er heterogene og ikke mulig å generalisere, verken i tid eller rom. Resultatene av dette er at mange hydrologiske modeller er gjort mindre generaliserende og mer fleksible. Tidligere har fokuset i



hydrologisk modellering vært preget av fysiske prinsipper i makroskala med såkalte «bottom-up» empiriske modeller og kalibrering. Det økte fokuset på nedbørsfelt som heterogene, komplekse systemer, kan best modelleres med en «top-down»-tilnærming. Eksempelvis fant Seibert et. al. (2003) at helningers grunnvannsnivå i et nedbørsfelt ikke kan generaliseres, og heller ikke sies å være i fase med feltets vannføring. Studiet satte fokus på antakelsen om en lineær sammenheng mellom vannføring og feltets grunnvannsnivå, slik det var gjort i den originale versjonen av den velkjente hydrologiske modellen TOPMODEL. Studiet viste flere eksempler på at størrelsene var uavhengige. TOPMODEL i sin opprinnelige form, med antakelsen om uniform, lineær korrelasjon mellom grunnvannstand og vannføring, var dermed ikke gyldig. Som et resultat av dette, og lignende funn av hydrologiske prosesser, er hydrologiske modeller i den senere tid gjort mer fleksible for felts særtrekk.

Det økte fokuset på nedbørsfelts ulikheter i størrelse, tid og rom gjør det krevende å estimere umålte felt. Det er i det siste tiåret fremhevet komparative studier av tilsigsfelt for å kunne utvikle kunnskap om effektene de dynamiske egenskapene har på responsmønstre, for å validere regionalisering over tid og rom. Som et resultat av dette har flere studier undersøkt geostatistiske metoder, med suksess, for å estimere hydrologiske variabler i umålte felt. Skøien og Blöschl (2007) indikerte at top-kriging kunne estimere vannføringsserier bedre enn deterministiske modeller for områder med høy tetthet av data. Kartkorrelasjonsmetoden, som skal vurderes for Nord-Trøndelag i dette studiet, tar i bruk en lignende metode og ble introdusert, som et direkte resultat av tiårssatsingen til IAHS, i 2010 (Archfield & Vogel, 2010).

Det ovennevnte er kun en liten del av de oppsummerte resultatene av IAHS tiårssatsing på estimering av umålte felt (Hrachowitz, et al., 2013). Aktiviteten rundt forskningsområdet er stort og utfordringene er fremdeles formidable for en helhetlig forståelse, og estimering, av avrenning i umålte felt.

## **2.3 Kartkorrelasjonsmetoden**

Kartkorrelasjonsmetoden er blant de nyeste alternative metodene for estimering av avrenning fra umålte felt. I 2010 ble metoden introdusert av S. A. Archfield og R.M. Vogel, som viste at valg av nærmeste mulige referansestasjon ikke alltid er den foretrukne. Videre studier har vist at man ved å ta inn klimatiske og topografiske kovariabler kan oppnå enda bedre seleksjon av referansefelt (Zeleeuw & Alfredsen, 2014). I det følgende avsnittet forklares den anvendte geostatistiske teorien som utgjør det teoretiske grunnlaget for metoden.

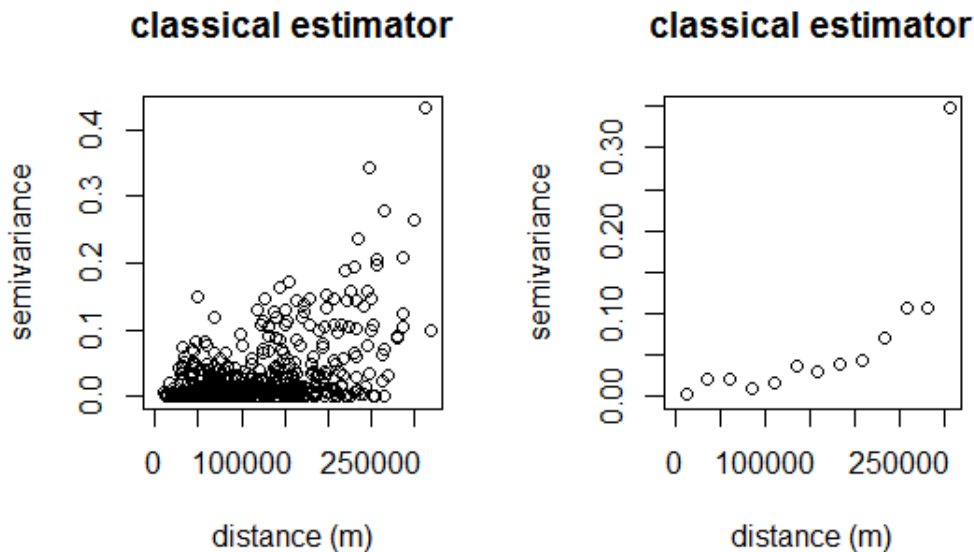
### 2.3.1 Tilpassing av variogram

Utgangspunktet for kartkorrelasjonsmetoden er et geografisk område med flere målestasjoner med overlappende dataserier (Archfield & Vogel, 2010). Metoden tar utgangspunkt i korrelasjon mellom parvise vannføringsserier. Kendalls tau,  $\tau$ , er en korrelasjonskoeffisient som kan brukes for å forklare hydrologiske korrelasjoner (Zeilew & Alfredsen, 2014).

For hver posisjon tilhørende en vannføringsmåler, får man koordinatfestede korrelasjonsverdier til de andre målestasjonene i området med overlappende dataserier. For å gjøre disse punktdataene om til romlig data som gir alle posisjoner en korrelasjonsverdi, begynner man med å lage et empirisk variogram. Den klassiske estimatoren tar i bruk momentmetoden og finner et empirisk variogram (Ribeiro Jr. & Diggle, 2013):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} [Y(x_{i+h}) - Y(x_i)]^2 \quad (2.4)$$

hvor  $\gamma(h)$  er *semivariansen* til  $\tau$  ved avstanden  $h$ ,  $N_h$  er antall parlige sammenligninger med avstand  $h$ , og  $Y$  er dataobservasjon av tau. I det som kalles en variogram-sky plottes semivariansverdier for alle mulige parkombinasjoner i studiet. For å kunne tilpasse en funksjon til variogrammet som beskriver semivariansen for alle distanser,  $h$ , må disse dataene først ordnes i intervaller og deretter tilpasses. Figur 2.2 viser en variogram-sky som er blitt ordnet i intervaller.



Figur 2.2: Tilordning av variogram-sky til intervaller

For å tilpasse en kontinuerlig funksjon til det empiriske variogrammet som forklarer den romlige korrelasjonsstrukturen for hvert felt best mulig, finnes flere ulike modeller med hvert sitt utgangspunkt for romlig fordeling. Sfærisk, eksponentiell, gaussisk og Matérn-modeller er anvendt i dette studiet og gjengitt under (Ribeiro Jr. & Diggle, 2013).  $\phi$  er kalt ‘range parameter’ og bestemmer utstrekningen for korrelasjonen. For Matérn-modellen inngår en ekstra parameter,  $\kappa$ , som blir kalt ‘smoothness parameter.’ For utfyllende detaljer vises det til Ribeiro Jr. & Diggle(2013). Alle modellene gjelder for  $\phi > 0$  og  $\kappa > 0$ .

Sfærisk:

$$\rho(h) = 1 - 1.5 \frac{h}{\phi} + 0.5 \left(\frac{h}{\phi}\right)^3, \text{ hvis } h < \phi \quad (2.5)$$

$$\rho(h) = 0, \quad \text{ellers}$$

Eksponentiell:

$$\rho(h) = \exp\left(-\frac{h}{\phi}\right) \quad (2.6)$$

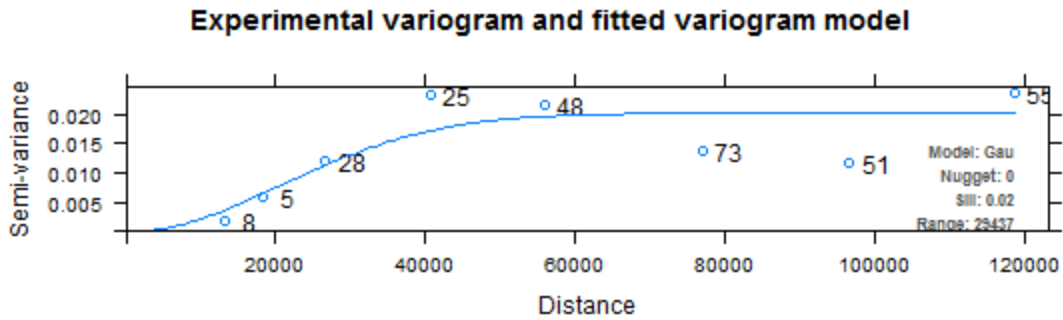
Gaussisk:

$$\rho(h) = \exp\left[-\left(\frac{h}{\phi}\right)^2\right] \quad (2.7)$$

Matérn:

$$\rho(h) = \frac{1}{2^{\kappa-1}\Gamma(\kappa)} \left(\frac{h}{\phi}\right)^{\kappa} \kappa_{\kappa} \left(\frac{h}{\phi}\right) \quad (2.8)$$

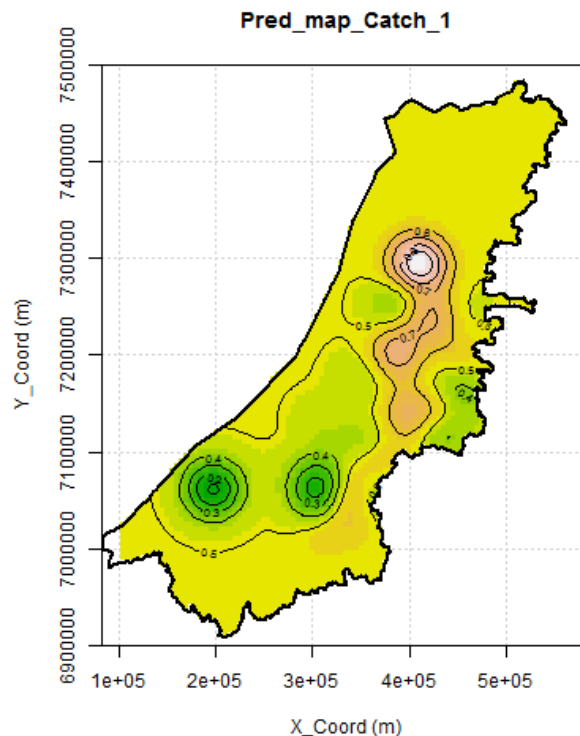
For å sikre en modell som forklarer den romlige variasjonen på best mulig vis blir alle fire modellene testet for det empiriske variogrammet og den beste modellen er valgt ut etter metoden minste kvadraters sum av residualer med det empiriske variogrammet (Hiemstra, 2013). I Figur 2.3 på neste side sees et eksempel på beste modell for et empirisk variogram, som er gaussisk med parameterne nugget lik 0, sill lik 0,02 og range ca. 29 500 meter. Sill er den maksimale semivariansen modellen kan forklare, altså der den flater ut (Bohling, 2005). Nugget er der hvor modellen krysser y-aksen, altså semivariansen for distanse 0 fra målestasjonen, og skal teoretisk ha verdi 0 for enhver modell. Parameteren forteller noe om variasjon for kortere distanser enn de som inngår i utvalget og eventuelle målefeil. Range, eller utstrekning, forteller for hvor stor distanse modellen kan forklare korrelasjonsverdien.



Figur 2.3: Tilpasset variogram-modell til empirisk variogram

### 2.3.2 Kriging

Med beste modell valgt, kan man estimere tau for hele området ved en geostatistisk metode kalt kriging. Kriging er en regresjonsbasert interpolasjonsmetode som tar i hensyn den romlige kovariansen beskrevet ved variogram-modellene og estimerer verdier av en variabel for alle punkter på en flate (Bohling, 2005). Eksempelet av en variogram-modell i Figur 2.3 gir estimerte verdier gjennom ordinær kriging som vist i Figur 2.4.



Figur 2.4: Estimert korrelasjon for studieområdet for felt nr.1 Lavvatn

Det fins ulike typer kriging, men alle er varianter av lineær regresjonsestimering, definert ved formel(2.9) (Bohling, 2005).

$$Z^*(\mathbf{u}) - m(\mathbf{u}) = \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\alpha} [Z(\mathbf{u}_{\alpha}) - m(\mathbf{u}_{\alpha})], \quad (2.9)$$

hvor  $Z^*(\mathbf{u})$  er estimert verdi,  $\mathbf{u}$  er posisjonsvektor for punktet for estimering, mens  $\mathbf{u}_{\alpha}$  er for nabopunktene som blir brukt for estimering av  $Z^*(\mathbf{u})$ . Videre er  $n(\mathbf{u})$  antall datapunkter i nærheten som blir brukt for estimering av  $Z^*(\mathbf{u})$  og  $m(\mathbf{u})$  og  $m(\mathbf{u}_{\alpha})$  forventningsverdi eller snittverdi av  $Z(\mathbf{u})$  og  $Z(\mathbf{u}_{\alpha})$ .  $\lambda_{\alpha}(\mathbf{u})$  er parameteren som vektet verdien  $z(\mathbf{u}_{\alpha})$  for hvert punkt etter påvirkning i estimeringen i punkt  $\mathbf{u}$ . Det er variogrammodellen som bestemmer  $\lambda_{\alpha}(\mathbf{u})$ .

Kriging tar utgangspunkt i  $Z(\mathbf{u})$  som en flate med et tilfeldig utvalg av stokastisk variabler i sine punkter (Bohling, 2005).  $Z(\mathbf{u})$  er videre summen av to komponenter som betegnes som trend,  $m(\mathbf{u})$ , og residualer  $R(\mathbf{u})$ . Ved formel (2.9) estimerer kriging residualkomponenten som den vektete summen av residualene i de omkringliggende punktene, hvor vektingen er bestemt av kovariansfunksjonen som er variogrammodellen. Den er som kjent uavhengig av  $\mathbf{u}$ , men avhengig av distansen  $h$ .

Den beste estimatoren er den som vektet punktene, slik at estimatorens varians (formel 2.10) minimeres under betingelse av at  $E(Z^*(\mathbf{u})) = E(Z(\mathbf{u}))$ .

$$\sigma_E^2(\mathbf{u}) = Var\{Z^*(\mathbf{u}) - Z(\mathbf{u})\} \quad (2.10)$$

### Ordinær kriging

De ulike typene kriging behandler trendkomponenten,  $m(\mathbf{u})$ , i estimatoren forskjellig (Bohling, 2005). Det vil i det følgende gjøres rede for teorien bak hvordan trendkomponenten behandles i ordinær kriging.

Antakelsen metoden bygger på er at snittverdien er konstant for alle punktene som inngår i estimeringen av  $Z^*(\mathbf{u})$ , altså at  $m(\mathbf{u})=m(\mathbf{u}_{\alpha})$  for alle  $Z(\mathbf{u}_{\alpha})$ . Da kan formel (2.9) omskrives slik:

$$Z^*(\mathbf{u}) = m(\mathbf{u}) + \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\alpha}(\mathbf{u}) [Z(\mathbf{u}_{\alpha}) - m(\mathbf{u})] = \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\alpha}(\mathbf{u}) Z(\mathbf{u}_{\alpha}) + \left[ 1 - \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\alpha}(\mathbf{u}) \right] m(\mathbf{u}) \quad (2.11)$$

Ved å tvinge summen av vekten til å være lik 1, kan estimatoren for ordinær kriging skrives slik:

$$Z_{OK}^*(\mathbf{u}) = \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\alpha}^{OK}(\mathbf{u})Z(\mathbf{u}_{\alpha}), \quad \text{hvor} \quad \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\alpha}^{OK}(\mathbf{u}) = 1 \quad (2.12)$$

Videre innføres en Lagrange-parameter i funksjonen for estimatorens varians, for å minimere den under den gitte forutsetning at summen av vekten er 1, som vist ved formel (2.13).

$$L = \sigma_E^2(\mathbf{u}) + 2\mu_{OK}(\mathbf{u}) \left[ 1 - \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\alpha}(\mathbf{u}) \right] \quad (2.13)$$

Minimering av estimeringsvariansen,  $L$ , med hensyn på Lagrange-parameteren tvinger dermed betingelsen om summen av vektning lik 1 å være innfridd, slik det er vist i formel (2.14). Estimeringsvariansen blir minimert ved derivasjon med hensyn på Lagrange-parameteren og settes lik 0, slik det er vanlig å finne minimumsverdier.

$$\frac{1}{2} \frac{\partial L}{\partial \mu} = 1 - \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\alpha}(\mathbf{u}) = 0 \quad (2.14)$$

Det er dette som til slutt bestemmer systemet av funksjoner som beskriver vekten av hvert enkelt datapunkt som tas med i estimeringen og er gitt i formel (2.15).

$$\sum_{\beta=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\beta}^{OK}(\mathbf{u})C(\mathbf{u}_{\alpha} - \mathbf{u}_{\beta}) + \mu_{OK}(\mathbf{u}) = C(\mathbf{u}_{\alpha} - \mathbf{u}),$$

$$\text{hvor } \alpha = 1, \dots, n(\mathbf{u}) \quad \text{og} \quad \sum_{\beta=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{\beta}^{OK}(\mathbf{u}) = 1 \quad (2.15)$$

### 2.3.3 Ko-kriging

Ko-kriging er en utvidelse av kriging som, ved å inkludere variabler som har korrelasjon med primærvARIABLEN, kan tas i bruk i tilfeller hvor det fins mye av slik data tilgjengelig. For eksempel fins mye informasjon om umålte felt som i ulik grad kan ha sammenheng

med vannføring. Om disse størrelsene er tilstrekkelig korrelert med primærvariabelen tau, kan man ved multivariabel kriging, kalt ordinær ko-kriging, utvide kartkorrelasjonsmetoden (Zeilew & Alfredsen, 2014).

Kovariablene kan være målt på like og ulike punkter som primærvariabelen eller en kombinasjon av begge. For kovariablene i ko-kriging utvikles det egne, direkte variogram-modeller med kriging, i tillegg til såkalte kryss-variogrammer. Kryss-variogrammer beskriver variansen for flere variabler samtidig. Videre estimeres primær- og kovariabler etter de samme prinsippene som for kriging med en variabel. Matematiske formler for ko-kriging er svært kompliserte og ansett som unødvendig å inkludere i rapporten, men for utdypende teori og formler vises det til Goovaerts(1997).

## 2.4 Anvendt statistisk teori

Gjennom hele prosjektet, ikke bare for kriging som i seg selv er en geostatistisk metode, er det gjort arbeid som forutsetter en del statistisk teori. Korte forklaringer av anvendt statistisk teori er inkludert i det følgende delkapitlet. Mer utdypende forklaringer av begreper og konsepter kan finnes i Dingman Appendix C (2002) og Tao, et.al (1976).

### 2.4.1 Vannføring som statistisk variabel

Det er nødvendig for å kunne utføre kriging med vannføringskorrelasjon som primærvariabel at målinger av vannføring kan sees på som et utvalg av en stokastisk variabel med en viss sannsynlighetsfordeling (Tao, et al., 1976). Siden vannføringsverdien er bestemt av tidspunkt og plassering, slik at man ikke kan vite eksakt verdien forskjøvet i tid eller sted, innfris kravet.

#### Statistisk estimering

For kriging er det sentralt med estimering av ulike parametere og metoder å gjøre dette på. Formålet med estimering er å estimere en ukjent parameter basert på tilgjengelig data. Momentmetoden eller minste kvadraters metode, og metoden for maksimal sannsynlighet(Method of maximum likelihood, MLE) er to typer estimering.

Den førstnevnte metoden finner utvalgets momenter, som vist ved formel (2.4), og estimerer så parameteren som gjør summen av momentene til utvalget minst mulig. Metoden er også brukt for regresjonsanalyse på samme måte.

Metoden for maksimal sannsynlighet finner parameteren som har størst sannsynlighet for å gi akkurat det utvalget man har. Estimeringsresultatet kan være likt eller ulikt ved bruk av de to forskjellige.

## Kovarians og korrelasjon

Kovarians er et statistisk begrep og måler til hvilken grad to variabler eller utvalg, X og Y, varierer i sammenheng (Dingman, 2002). Kovariansens størrelse kommer an på variablenes og en mer relevant størrelse er korrelasjon, som er vist i formel x.

Kovariansen mellom to variabler deles på produktet av de to variablenes standardavvik for å oppnå en dimensjonsløs størrelse som kan ta verdier fra -1 til 1, hvor 1 er fullstendig sammenheng mellom variablene. Det finnes flere ulike måter å måle korrelasjon på, formel x viser lineær korrelasjon, som også kalles Pearsons r.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n ((X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2.16)$$

Kendalls tau er en annen korrelasjonskoeffisient. Den er rangbasert, som vil si at den er et mål på graden av likhet mellom to datasett hvor data er rangerte etter størrelse, og er definert slik:

$$\tau = \frac{n_c - n_d}{\frac{1}{2}n(n-1)} \quad (2.17)$$

hvor  $n_c$  er antall overensstemmende rangerte par,  $n_d$  er antall uoverensstemmende rangerte par og  $n$  er totalt antall datapar eller observasjoner i hvert datasett (Gao, et al., u.d.). Tau kan således også ha verdi fra -1 til 1, hvor 0 er uavhengige dataserier og 1 er fullstendig korrelerte serier. Formel (2.17) gjelder kun for dataserier uten like rangeringsverdier. For like rangeringsverdier kompliseres nevneren og utredningen tas derfor ikke med her, men kan finnes i Gao, et. al., u.d.

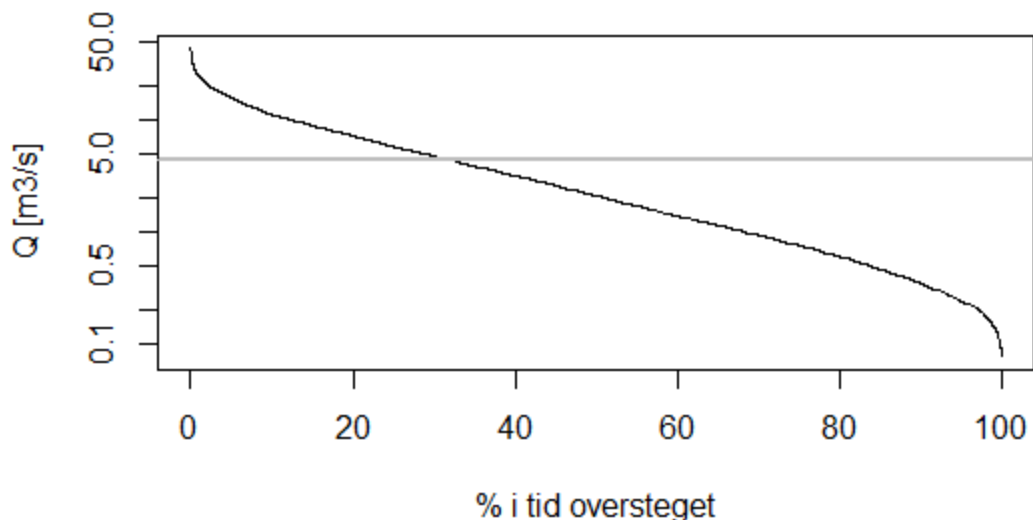
## Hydrologiske data

Som forutsetning for å behandle hydrologisk data som stokastiske variabler er blant annet at de kan sees på som et utvalg fra en viss sannsynlighetsfordeling. At ingen vannføringsverdier kan ha negativ verdi, i tillegg til tilstedeværelsen av spesielt høyere ekstremer, gir typiske vannføringsverdier en statistisk skjev fordeling. Et eksempel er at gjennomsnittlig vannføring, såkalt middelvannføring eller Qmiddel, ikke er den vannføringen som like ofte blir overskredet som underskredet. På grunn av flomverdier er middelvannføringen av en størrelse som typisk blir overskredet i kun 20-40 % av tiden.

Figur 2.5 viser varighetskurven for en målestasjon i studiet. Varighetskurve er et viktig begrep innenfor felthydrologi. Kurven viser hvor store vannføringer som blir overskredet hvor ofte i et vassdrag. Qmiddel er den grå streken som skjærer varighetskurven ved ca. 30 %, noe som betyr at kun for 30 % av målingene er vannføringen større enn Qmiddel.



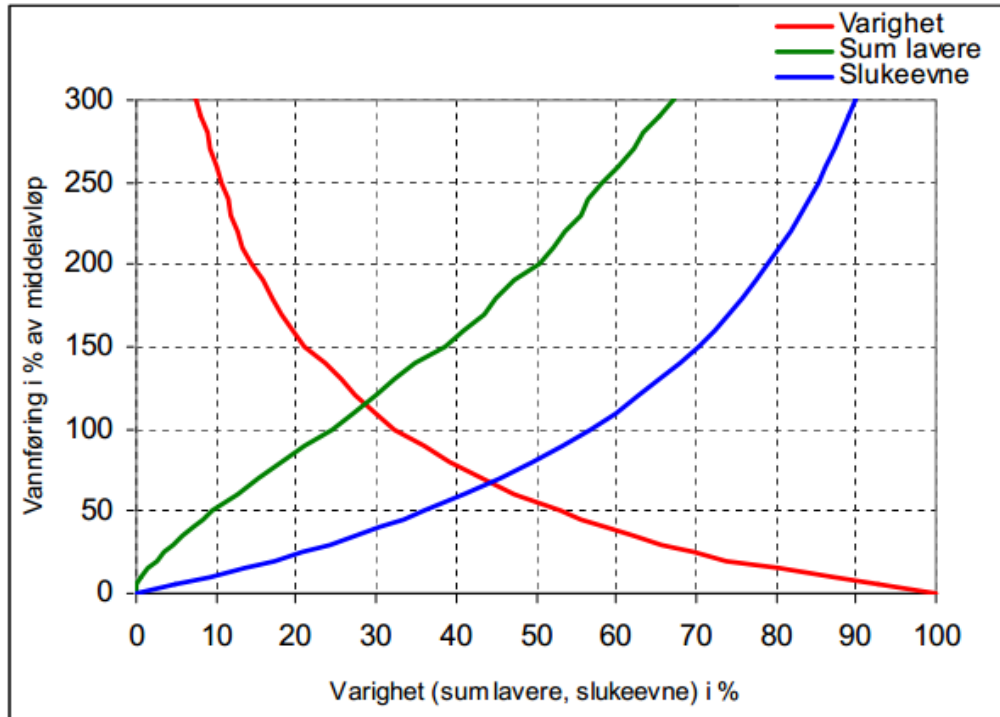
## Varighetskurve for Moen



Figur 2.5: Varighetskurve for Moen

Varighetskurver er ofte brukt som utgangspunkt for kartlegging av kraftpotensial i et vassdrag. Forutsatt ingen magasinerings og bestemte maksimal og minimal driftsvannføringer, kan man direkte ut fra den finne driftstiden til kraftverket og andel av tiden kraftverket kan kjøre full effekt. Varighetskurver er også grunnlaget for såkalte sum lavere-kurver og slukeevnekurver, som angir hvor mange % av normalavløpet som henholdsvis går til lavvannstap og kraftutnyttet vannmengde for ulike minimale og maksimale driftsvannføringer. Figur 2.6 viser et eksempel på slike kurver. For et scenario med maksimal driftsvannføring lik 150 % av middelvannføringen og minimal lik 20 %, vil dette vassdraget kunne utnytte 70 % av normalavløpet (blå kurve), mens ca. 3 % vil gå til lavvannstap. Fra den røde varighetskurven kan vi lese at kraftverket vil kunne kjøre for full effekt i ca. 21 % av tiden og måtte stå stille i ca. 25 % av tiden. Maksimal og minimal driftsvannføring er avhengige av turbinvalg og type vassdrag, og kan typisk være henholdsvis  $1,5-2 \cdot Q_{\text{middel}}$  og  $0,2-0,5 \cdot Q_{\text{middel}}$ .

Fra varighetskurver kan man også finne lavvannsverdier som er viktige i forbindelse med slipp av minstevannføringer. Ett enkelt eksempel på en lavvannsverdi som kan leses direkte av fra varighetskurven er 5-persentilen som er den vannføringen som blir overskredet i 95 % av tiden.



Figur 2.6: Eksempel på varighetskurve, sum lavere og slukeevne (Væringstad, 2010)

### Vurdering av hydrologiske prediksjoner

$$R_{NS}^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - m_Q)^2} \quad (2.18)$$

For vurdering av hydrologiske prediksjoner er blant andre Nash Sutcliffe-kriteriet anbefalt, spesielt ved kontinuerlige tidsserier (Dingman, 2002). Det er gitt ved formel (2.18), hvor  $m_Q$  er  $Q$ -middel for den simulerte perioden. Ved simulering over flere år er det anbefalt å la  $m_Q$  være middelvannføringen for hele perioden, mens koeffisienten regnes ut separat for hvert år og eventuelt tas snitt av for endelig verdi (Dingman, 2002).

Gjennomsnittlig, absolutt differanse er også et godt kriterium for vurdering av simulerte/predikerte verdier (Legates & McCabe Jr, 1999). Den finner gjennomsnittsverdien av den absolutte differansen mellom målt og simulert verdi over hele dataserien, slik det er vist i formel (2.19).

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_i - \hat{Q}_i| = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |e_i| \quad (2.19)$$

# Kapittel 3

## Data

For gjennomføring av dette studiet er det brukt data av tre hovedtyper; vannførings-, høyde- og klimadata. I tillegg trenger man enkelte feltparametere som ikke finnes gjennom analyse av de tre andre, som for eksempel avrenningskoeffisienten. Det kommende kapitlet gjennomgår all data som er brukt i studiet.

### 3.1 Innsamling av data

Vannføringsdata fra studiefeltene er registrert av Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk(NTE) og HydraTeam, mens alle data for referansefelt er fra NVEs database Hydra II. Metode for innsamling av data er felles for alle aktuelle vassdrag, nemlig at det er etablert en målestasjon for hvert felt som måler vannstand i elven ved en elektronisk logger og regner det om til vannføring ved hjelp av en etablert vannføringskurve, spesielt utarbeidet for hver stasjon. Vannføringsdataene fra NVE som er brukt i studiet er av klassen HYDAG (NVE, 2011). Dette er kvalitetskontrollerte døgndata som har gjennomgått minst tre typer kontroll:

1. Preprosessering med automatisk syntaks kontroll av dataserier
2. Primærkontroll med retting av målefeil
3. Sekundærkontroll med fylling av hull i seriene og korrigerings for isoppstuvning, såkalt isreduksjon.

En fjerde type kontroll, etterkontroll, er avhengige av at seriene har fått en viss lengde. NVE oppgir tre metoder for etterkontroll: Tilsigsberegninger, beregninger fra nedbør-avløpsmodeller og homogenitetstester. Det er grunn til å tro at mange av seriene fra NVE har gjennomgått en slik type etterkontroll.

Metodene for kontroll av vannføringsdata for studiefeltene er i hovedsak like som for NVE. De har alle gjennomgått en kontroll tilsvarende NVEs sekundærkontroll for ukomplette serier og isreduksjon(Bjørn, pers. med.).

Høydedata er hentet ned i form av en digital terrengmodell(DTM) fra Kartverket. Modellen består av høydedata i et rutenett med oppløsning 10x10 meter for fastlands-Norge og er lastet ned i UTM sone 33. Felles kartdatabase(FKB), Vbase og Punktarkivet Statens kartverk er kilder for modellen som må påregnes en usikkerhet på  $\pm 4-6$  m for studieområdet (Kartverket, 2012).

Nedbør- og temperaturdata består av daglige data med oppløsning på 1 km x 1 km som er basert på Meteorologisk Institutt's stasjoners målinger. Videre blir verdiene for alle posisjoner utregnet etter lignende konsept som i HBV-modellen med interpolasjon basert på kjente verdier og parametere. Dette gir usikkerhet, både i måledata og i modelleringen av distribuerte verdier.

Kartfiler for nedbørsfeltene og utfyllende feltparametere, som avrenningskoeffisienter, er lastet ned fra NVEs lavvannapplikasjon i karttjenesten deres Atlas (NVE, u.d.).

### **3.1.1 Usikkerhet**

Det er knyttet en betydelig usikkerhet til registrering av vannføringsdata slik det er forklart over. Det er gode rutiner på å avdekke eventuelle målefeil og diskontinuitet i måleserier, men det som er den største kilden til usikkerhet i vannføringsdata er i overgangen fra måledata i vannstand til vannføring (Moe, 2008). En god vannføringskurve krever at det er gjort vannføringsmålinger på mange ulike vannstander. Moe (2008) viste et eksempel på at det før flommåling i et vassdrag ble regnet med over 100 % feil på flomverdier. Vannføringskurvene til stasjonene som inngår i studiet er ikke vurdert, men det er typisk for relativt nyetablerte stasjoner å ha en mangelfull vannføringskurve, som gir betydelig usikkerhet i måleseriene.

De hydrologiske data fra NVEs Hydra II database skal være kontrollert for, som tidligere skrevet, men en skal i et slikt studium ikke utelukke feil i disse måleseriene heller. Dog er det ikke utført noen kontroll, annet enn å kun inkludere data uten regulering og som er oppført i NVEs oversikt som komplette døgndata (NVE, u.d.).

NVEs avrenningskoeffisient er en modellberegnet størrelse som gis for hele landet i et rutenett på 1 km<sup>2</sup>. Denne er tidligere oppgitt med 20 % usikkerhet og undersøkelser i tall fra dataperioden i studiet viser et betydelig avvik, spesielt for kortere perioder(Bjørn, pers. med.). Denne usikkerheten er meget sentral fordi koeffisienten inngår i skaleringen av nedbørsfelt og fordi enkelte av dataseriene fra NTE er korte og kan således ha stort avvik fra normalen.

Høydedata er fra kilden Kartverket oppgitt med potensielle feil  $\pm 4-6$  m. For nedbør- og temperaturdata gjelder lignende vurderinger som for avrenningskoeffisienten, siden dette er modellberegnete verdier ut fra målte temperaturer og nedbørsmengder på

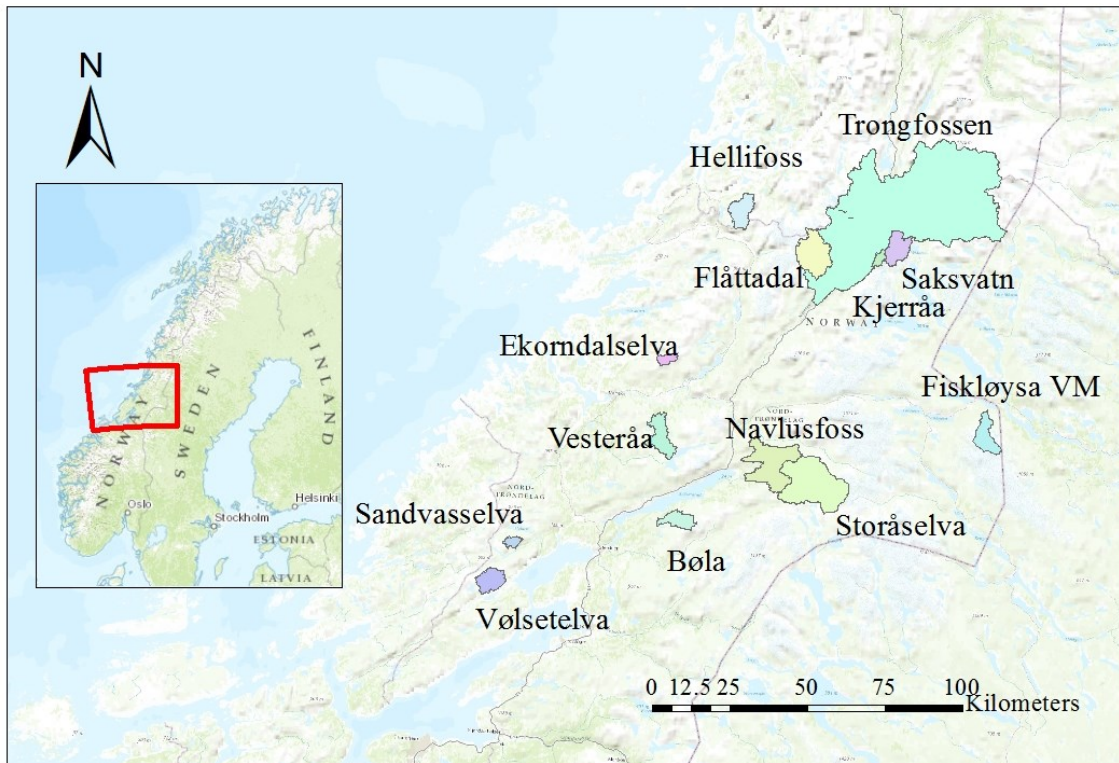
meteorologiske stasjoner. Derav følger en betydelig usikkerhet. Disse usikkerhetene er dog tillagt mindre oppmerksomhet i dette studiet på grunnlag av mindre influens på resultater av studiet.

Det er vanskelig og arbeidskrevende å redusere usikkerheten i studiets data. For dette studiet er det gjort en grundig vurdering av hvilke vannføringsdata som er inkludert for ikke å ha dårlige vannføringsserier som basis i studiet. Angående høyde-, nedbør- og temperaturdata er det ikke gjort spesielle tiltak, annet enn å behandle dem som potensielle kilder til feil i vurderingen av resultater.

## 3.2 Presentasjon av data

### 3.2.1 Studiefelt

Grunnlaget for studiet er 13 nylig anlagte målestasjoner som er utplassert og driftes av Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk (NTE). De er plassert spredt i deres nedslagsområde, se kartet i Figur 3.1. Det er for disse feltene kartkorrelasjonsmetoden skal undersøkes og vurderes. I oppgaven kan de være nevnt som umålte felt fordi de har vært behandlet som umålte felt frem til vurderingen av estimeringsvevnen til metoden. Feltene vil beskrives vekselvis som studiefelt og NTE-felt i oppgaven.



Figur 3.1: Kart med studiefelt

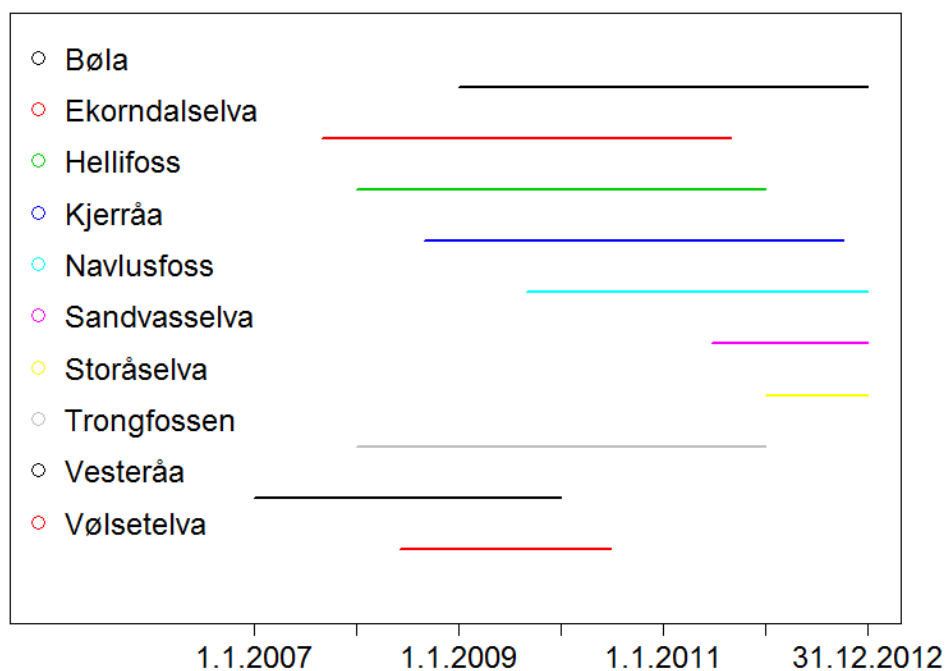
Tabell 3-1: Nøkkeldata for studiefeltene

ID	Feltnavn	Areal [km <sup>2</sup> ]	Avrenning (NVE) [l/s*km <sup>2</sup> ]	Hmax [moh]	Hmin [moh]	Årsnedbør [mm]	Årstemp. [°C]
13	Bøla	45,1	33,8	812	95	1 023	2,6
12	Ekorndalselva	17,3	66,7	643	117	1 540	2,6
3	Fiskløysa VM	60,6	39,4	1 267	335	844	-1.1
11	Flåttadal	119,7	84,7	906	231	2 073	0,9
10	Hellifoss	60,6	84,0	786	54	1 967	2,9
9	Kjerråa	13,9	42,2	894	541	1 378	-0,4
8	Navlusfoss	434,1	28,0	937	57	1 072	1,8
7	Saksvatn	64,1	37,8	1 006	464	1 319	0,1
6	Sandvasselva	15,0	58,2	649	315	1 605	3,0
5	Storåselva	263,0	28,8	937	263	1 109	1,2
4	Trongfossen	1774,1	47,9	1 675	145	1 491	-0,2
2	Vesteråa	71,9	33,6	589	50	1 495	3,0
1	Vølsetelva	53,9	53,3	608	110	1 627	3,6

Tabell 3-1 gir nøkkeldata for estimeringsfeltene fra NTE og viser store variasjoner innenfor mange relevante feltparametere. Alle dataverdier og kartfiler er funnet fra NVEs LAVVANN-applikasjon. Parameteren ID er brukt for dataprosessering i studiet og tilfeldig tildelt, men er vist her for referanse til script og tabeller senere i oppgaven og i vedlegg.

Vannføringsdata fra NTE-stasjonene er av varierende lengde, fra ett til fire år. Figur 3.2 viser hvilke perioder det fins data for de ulike feltene. Målingene startet med Vesteråa 1. januar 2007, og de siste data som er brukt for dette prosjektet er målt 31. desember 2012. Sandvasselva, Storåselva og Vølsetelva har kortere serier, på henholdsvis 1,5 år, 1 år og 2 år, noe som vil øke usikkerheten i resultatene, spesielt basert på ekstreme verdier.

### Oversikt over perioder med data for NTE-felt



Figur 3.2: Dataperioder for NTE-felt

For feltene Fiskløysa, Flåttadal og Saksvatn har det ikke lyktes å inkludere vannføringsdata for dette studiet. Fiskløysa VM har en dårlig etablert vannføringskurve, og data ble ikke bearbeidet av NTE i tide for dette studiet (Bjørø, pers. med.). For Flåttadal er det ikke lyktes å få kontakt med rettighetshavere. Saksvatn er det mottatt data for, men serien strekker seg fra 1. november 2012 og kunne derfor ikke inkluderes i studiet som kun har data til og med 31. desember 2012. Data for referansefeltene ble klargjort høsten 2013 og det ble da ikke inkludert data fra 2013. Informasjon om at data fra disse tre feltene ikke ble tilgjengelige før fristen for oppgaven ble ikke klart før sent mai og derfor vil feltene være inkludert i tabeller, figurer, script og estimering ved kartkorrelasjonsmetoden. Feltene kan dermed vurderes så fort data blir klare.

NTE-feltet Trongfossen er regulert og har dermed unaturlig avrenning. Delfeltet Namsvatn, som utgjør over en tredel av feltet, er magasinert og overført til et annet felt (Pettersen, 2004). Slipp av minstevannføring av ulike størrelser gjennom året gjør det krevende å skalere serier som egner seg til vurdering av de ulike metodene. Feltet er inkludert i studiet av de samme grunnene som de tre andre, for fremtidig opptakelse om det skulle la seg gjøre å skalere på en riktig måte. Resultatene fra skalering til Trongfossen er gjennomgått, men er vurdert som uriktig å inkludere i vurderingen av metodene på grunn av reguleringen.

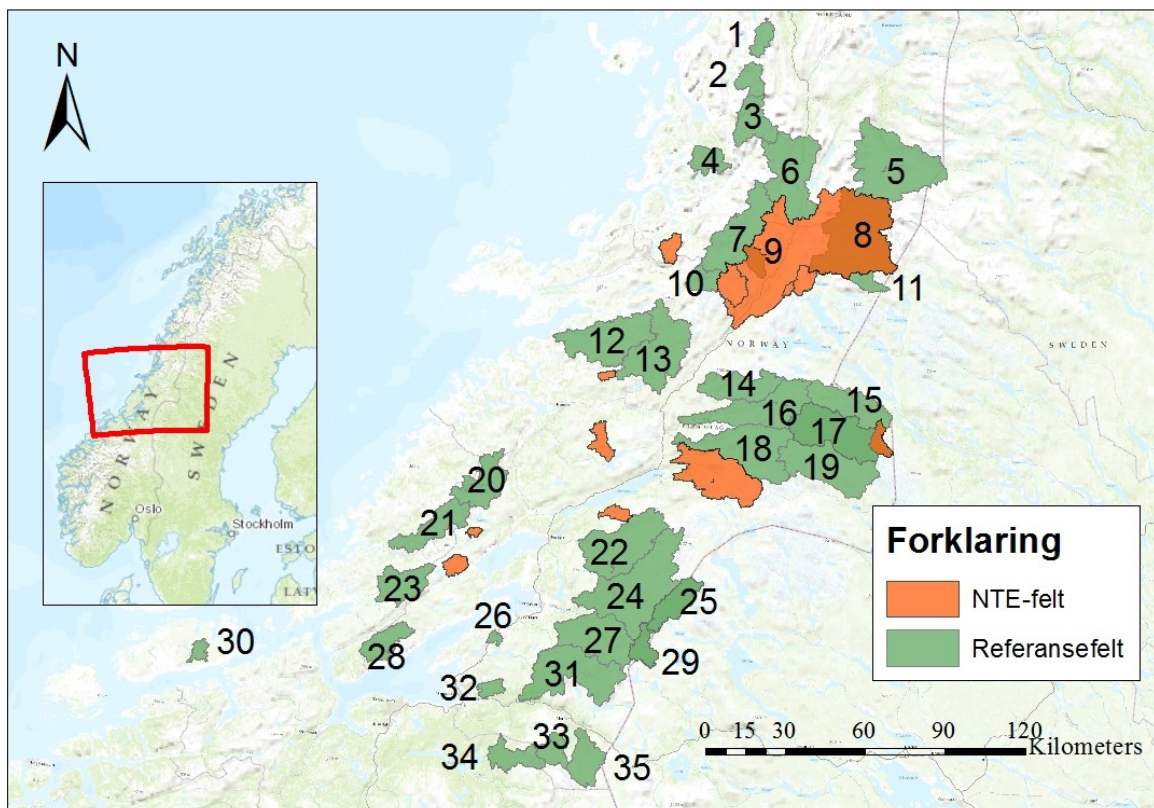
Studiefeltene Navlusfoss og Saksvatn har tidligere vært målt og er oppført med eldre måledata i NVEs database Hydra II. Måleseriene er ikke inkludert i dette studiet fordi de

har vært behandlet som umålte frem til vurdering av estimering. For Navlusfoss kan det senere sammenlignes korrelasjonsverdier fra den gamle og nye serien, men det er av hensyn til prosjektets rammer ikke inkludert i denne rapporten.

### 3.2.2 Referansefelt

Mulige referansefelt er funnet og analysert fra NVEs database Hydra II. Både nedlagte og aktive stasjoner er inkludert i studiet. NVE Atlas, i tillegg til diverse NVE-rapporter, er brukt for å kartlegge aktuelle data i studieområdet (NVE, u.d.) (Petterson, 2004). Data og kartfiler for referansefeltene er også hentet ned fra NVE LAVVANN. Ordene referansefelt og NVE-felt er brukt om hverandre i oppgaven, men betyr det samme.

35 målestasjoner fra NVE er vurdert som egnet for utførelse av kartkorrelasjonsmetoden i Nord-Trøndelag. Deres plassering sammen med NTE-feltene er vist med kart i Figur 3.3. Nøkkeldata finnes i Tabell 3-2. Tallene hvert felt er markert med i kartet er gjengitt i tabellen i kolonnen for ID. Dette tallet er sortert med stigende tall fra nord til sør i studieområdet og er brukt gjennomgående i hele oppgaven. Som for feltene det skal skaleres for, er det stor variasjon innenfor de fleste parametere også for referansefeltene. Feltparametere analyseres videre i neste delkapittel.



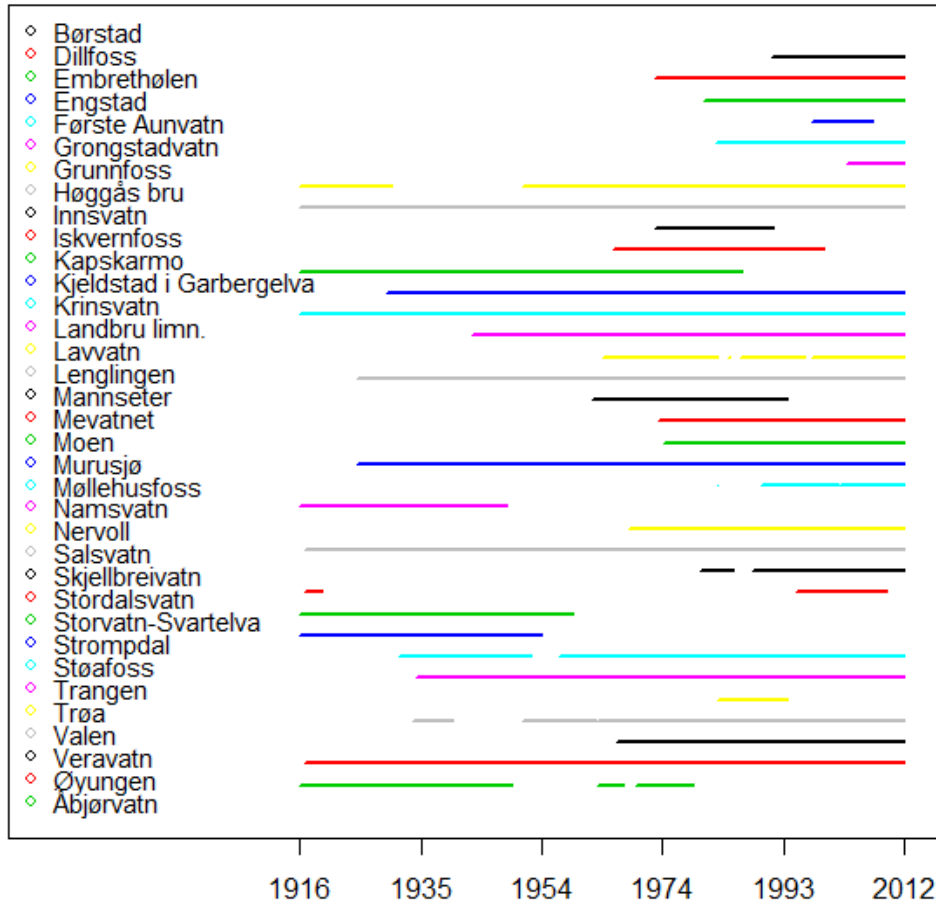
Figur 3.3: Kart med alle felt i studiet



Tabell 3-2: Nøkkeldata for referansefelt

ID	Feltnavn	Areal [km <sup>2</sup> ]	Avrenning [l/s*km <sup>2</sup> ]	Hmax [moh]	Hmin [moh]	Årsnedbør [mm]	Årstemp. [°C]
32	Børstad	48,6	25,2	438	10	1 109	4,4
27	Dillfoss	482,6	34,5	1 031	39	1 067	1,8
18	Embrethølen	494,3	40,6	1 068	138	1 091	0,4
26	Engstad	19,8	17,4	283	12	883	4,9
10	Første Aunvatn	87,6	110,7	922	20	2 413	1,1
13	Grongstadvatn	471,6	68,1	814	13	1 610	2,2
24	Grunnfoss	880,7	43,0	1 215	38	1 264	1,6
31	Høggås bru	495,3	41,7	1 246	97	1 103	1,6
29	Innsvatn	95,6	35,4	766	415	1 052	1,3
14	Iskvern foss	249,6	59,8	1 153	99	1 039	0,4
6	Kapskarmo	474,3	62,0	1 234	135	1 751	0,9
34	Kjeldstad i	147,9	38,9	1 166	179	1 012	1,9
23	Krinsvatn	206,3	63,8	627	87	1 783	4,1
11	Landbru limn.	62,0	44,0	1 119	479	930	-1,2
1	Lavvatn	73,9	79,6	999	226	1 917	1,4
19	Lenglingen	450,7	32,7	1 387	354	863	-0,3
33	Mannseter	96,8	38,8	1 097	343	1 056	1,5
4	Mevatnet	109,2	58,2	783	15	1 678	4,2
9	Moen	63,9	61,6	1 098	200	2 048	0,8
15	Murusjø	345,9	24,4	1 267	310	735	0,2
2	Møllehusfoss	95,8	88,8	1 234	20	2 219	1,3
8	Namsvatn	702,1	45,7	1 675	439	1 170	-1,5
5	Nervoll	654,1	42,6	1 692	345	1 109	-1,8
12	Salsvatn	432,1	59,3	763	9	1 859	3,2
17	Skjellbreivvatn	427,0	34,8	1 384	353	782	-0,1
21	Stordalsvatn	226,0	49,2	672	18	1 905	3,5
28	Storvatn-Svartelva	147,5	44,5	598	129	1 619	4,5
3	Strompdal	192,8	86,8	1 234	72	2 355	1,2
22	Støafoss	477,0	36,5	817	78	1 164	2,3
16	Trangen	852,0	41,1	1 384	138	875	0,1
35	Trøa	183,5	33,8	1 109	159	963	1,1
30	Valen (Laksvatnet)	39,8	29,1	299	8	1 403	5,4
25	Veravatn	175,7	36,2	1 215	361	1 108	1,3
20	Øyungen	239,7	50,6	675	103	1 823	2,9
7	Åbjørvatn	389,1	82,7	1 083	14	2 350	1,7

## Oversikt over perioder med data for NVE-felt



Figur 3.4: Dataperioder for referansestasjonene

Figur 3.4 viser, på tilsvarende måte som for studiefeltene, hvilke tidsperioder dataregistrering for de ulike referansefeltene finnes. Formålet med referansefeltene i studiet er todelt; de skal kunne brukes for skalering til NTE-feltene, men også som grunnlag for korrelasjonsprediksjonen i kriging. Derfor er det noen serier blant referansestasjonene som ikke kan brukes som skaleringsfelt fordi det ikke finnes data som overlapper seriene fra NTE sine stasjoner. De er likevel inkludert i studiet for å få økt nøyaktighet i den romlige interpolasjonen. Det samme er grunnen for at data helt tilbake til 1916 har vært brukt for å sammenligne serier. Det er vurdert som fordelaktig for studiets nøyaktighet med lange serier hvor flere stasjoner kan bli inkludert, blant annet for å kunne inkludere et par eldre stasjoner som er sentrale i området. Feltene Namsvatn, Trøa og Åbjørvatn har regulerte vannføringsdata i Hydra II, men disse periodene er ekskludert fra dataseriene for dette studiet. Støafoss og Grunnfoss står oppført med merknad liten regulering i NVEs reguleringsoversikt (Pettersen, 2004). De er vurdert til å være så små at stasjonenes korrelasjon kan inkluderes i dette studiet.

## 3.3 Analyse av data

### 3.3.1 Feil ved NTEs måleserier

En gjennomgang av måleseriene til NTE-stasjonene ble utført for å oppdage diskontinuitet, irregulariteter og eventuelle feil, men også for å kartlegge særtrekk ved avrenningen i de forskjellige feltene. Hydrogrammene og varighetskurvene er kvalitetskontrollert, og er kort beskrevet ved gjennomgangen av dem i resultatdelen av rapporten. Der er det også kort beskrevet hva som karakteriserer det hydrologiske året for hvert av feltene. Det er ikke utført test for homogenitet på NTE-seriene på grunn av deres korte varighet.

Gjennomgangen av data for feltet Vesteråa viser en irregularitet for lave vannføringer. De 10 % laveste målte vannføringene ser svært lave ut i forhold til resten av varighetskurven. Det er en irregularitet i forhold til en naturlig varighetskurve og ligner i større grad på Trongfossen, som det er kjent slippes minstevannføring fra over en tredjedel av tilsigsfeltet. Det er ingen regulering i Vesteråa, men feilen skyldes trolig målefeil, enten for isproblematikk eller det kan være en dårlig etablert vannføringskurve for lave vannføringer som kalkulerer for lave vannføringer for de laveste vannstandene. Det er valgt å beholde data som de er, uten manipulasjon, og heller ta hensyn til utfordringene i behandlingen av resultatene.

De resterende feltene er det ikke oppdaget lignende irregulariteter eller andre feil ved.

### 3.3.2 Distanse- og korrelasjonsanalyse for NTE-feltene

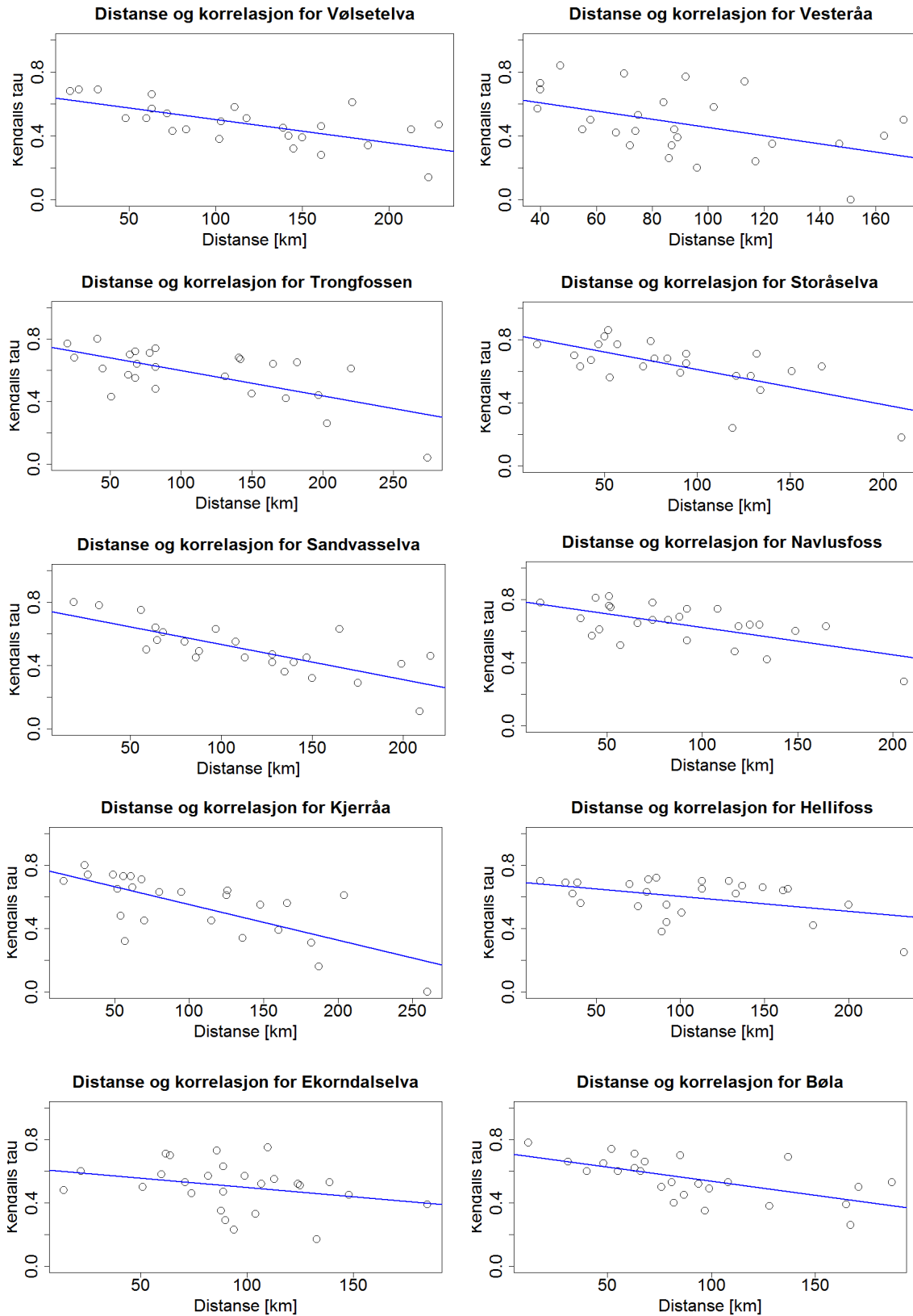
Den grunnleggende ideen bak kartkorrelasjonsmetoden er at man kan redusere usikkerheten i estimatene av et umålt felt hvis man skalerer med det tilgjengelige feltet som har høyest korrelasjonsverdi med det umålte feltet (Archfield & Vogel, 2010). Og det er ikke alltid det nærmeste eller det som velges gjennom den tradisjonelle skaleringsmetoden. Det er i tidligere studier påvist at estimatene fra skalering ved best korrelerte stasjon gir bedre resultat enn ved nærmeste stasjon. For dette studiet er det derfor viktig med distanse og korrelasjon mellom nedbørsfeltene. Det inngår som grunnlag for interpolasjonsmetoden, men kan også sees på i forkant for å undersøke om det er slik at det finnes felt lengre unna enn det nærmeste med bedre korrelasjonsverdi.

Under presenteres sammenhengen mellom distanse og korrelasjon slik den er for de ti studiefeltene med vannføringsdata relatert til referansefeltene. Det er kun Sandvasselva og Bøla som har det nærmeste feltet som det best korrelerte. For de andre feltene er det svært varierende hvor langt det er til den beste korrelerte stasjonen. I Ekorndalselvas tilfelle er det hele 110 km til det best korrelerte referansefeltet, som er Krinsvatn. Det

betyr at av de tilgjengelige referansefeltene i dette studiet er det Krinsvatn som vil med størst sannsynlighet gi det beste skaleringsresultatet for Ekorndalselva. Det er for disse tilfellene den tradisjonelle metoden for valg av skaleringsfelt ikke vil være egnet, og kartkorrelasjonsmetoden skal prøves ut.

Studiefeltene og -området er vurdert, på grunnlag av distanse- og korrelasjonsanalysen for NTE-feltene mot tilgjengelige referanseserier fra NVE, som egnet for vurdering av kartkorrelasjonsmetoden. Overvekten av feltene har stasjoner lengre unna enn den nærmeste, og i de fleste tilfeller de to nærmeste, som er bedre korrelert og derfor bør velges som skaleringsstasjon.

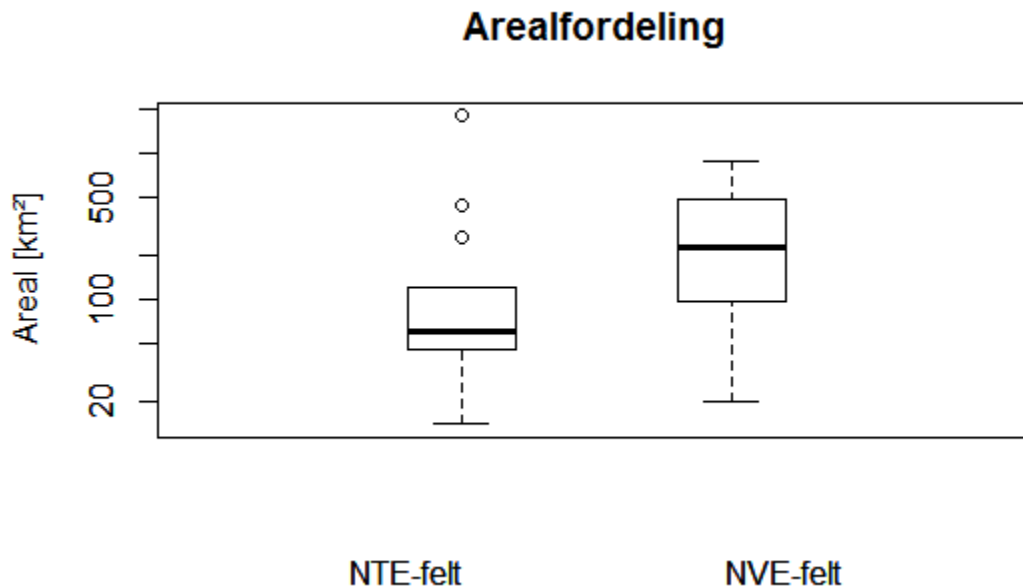
Det presiseres at denne analysen ble gjort i etterkant av valget av skaleringsfelt for tradisjonell metode for å unngå beslutningsskjevhet. Samtidig presiseres det at disse korrelasjonsverdiene kan brukes som fasit på utfordringen med skaleringsfelt, men har vært utelatt fra studiet før vurderingen av resultatene til metodene. Der står den sentralt og vil bli ytterligere gjennomgått.



Figur 3.5: Distanse- og korrelasjonsoversikt for NTE-felt

### 3.3.3 Feltareal

Nedbørsfeltenes areal er en viktig parameter i metoden og for et best mulig resultat av studiet er det derfor fordelaktig om referansefeltene representerer NTE-feltene arealmessig og gir et bredt grunnlag for god skalering. Figur 3.6 viser arealfordelingen av henholdsvis NTE- og NVE-felt som boksdiagram. Den viser at NVE-feltene generelt er større enn de som skal estimeres. Det er ansett som en utfordring generelt i skalering at det ikke finnes nok små målte felt. Av feltene som er inkludert i dette studiet er det kun tre referansefelt som er mindre enn NTE-feltenes arealmedian på 61 km<sup>2</sup>.



Figur 3.6: Fordeling av feltareal

Feltareal er ansett som kanskje den viktigste parameteren for vannføring. I den lineære arealskaleringen overføres egenskaper ved større felt som vanskelig lar seg nedskalere. Ett eksempel på en typisk forskjell mellom avrenning i store og små felt er «peak sharpness.» Oversatt til norsk blir det ofte skarphet eller bratthet i vannføringskurvene. Små felt karakteriseres med høye, kortvarige flomtopper og hyppige variasjoner. Disse variasjonene lar seg vanskelig overføre ved ren arealskalering. Det finnes metoder som skal ivareta flere av feltenes egenskaper ved skalering, men de er av en langt mer komplisert og krevende metode enn den tradisjonelle arealskaleringen (Alfredsen & Zelelew, pers. med.). Dette er effekter som er ventet også i dette studiet på grunn av arealfordelingen, og må derfor tas høyde for i vurderingen som en ekstra kilde til usikkerhet.

### 3.3.4 Studieområdet og estimering

I kartkorrelasjonsmetoden er det ønskelig at det finnes referansefelt spredt over hele området som er av forskjellige karakterer og som kan representere NTE-feltene i best mulig grad. Som for all interpolasjon er det også for kriging ønskelig med sikre verdier på begge sider av interpolasjonsverdien, altså at det er referansefelt på alle sider av feltene som skal estimeres. På denne måten reduseres usikkerheten i prediksjonene. Kartet i Figur 3.3 viser fordelingen av studiefelt og referansefelt i området. Der ser man at studieområdet er utvidet i alle retninger fra NTE sine felt med denne hensikt. Det gjør at studieområdet, i tillegg til å dekke kjerneområdet i Nord-Trøndelag hvor NTEs felt er plassert, strekker seg inn i Sør-Trøndelag og Nordland. Estimeringsevnen til kartkorrelasjonsmetoden i ytterkantene av studieområdene vil være redusert og resultatene fra dette studiet for de områdene er ikke gyldige. For kart over korrelasjonsprediksjoner i studieområdet blir det mer synlig, sammen med at metoden estimerer vannføringskorrelasjon for havområder. Det er selvsagt ikke riktige prediksjoner, men inngår som en del av studieområdet på grunn av kartfilene som er brukt strekker seg også over havet.





# Kapittel 4

## Metode

Hovedformålet med denne oppgaven er at den skal vurdere kartkorrelasjonsmetodens evne til å estimere umålte felt i Nord-Trøndelag. Dette kapitlet beskriver metoden og valgene som er brukt for å kunne foreta en slik vurdering.

Fundamentalt for at kartkorrelasjonsmetoden skal fungere og være hensiktsmessig er funnene i Archfield og Vogel (2010) om at skalering ved den best korrelerte stasjonen gir bedre skaleringsresultater enn den nærmeste. Med resultatene fra det studiet som bakgrunn, antar denne oppgaven at det samme gjelder i studiets område. I alle vurderinger av beste skaleringsfelt menes referansefeltet som gir høyest verdi av korrelasjonskoeffisienten Kendalls tau.

Resultatene i studiet består blant annet av estimerte vannføringsserier fra referansefelt valgt gjennom tradisjonell skalering og kartkorrelasjonsmetoden og en sammenligning av dem opp mot de målte vannføringsseriene NTE har for de 13 feltene. Kriteriene for vurderingen av de skalerte seriene vil bestemme hvilken metode som er foretrukket for feltene i dette studiet og må derfor defineres. De skalerte tidsseriene vil vurderes opp mot de målte vannføringsseriene etter to statistiske kriterier. Nash Sutcliffe-kriteriet egner seg til vurdering av såkalt «goodness of fit» for vannføringsserier. Det samme gjør gjennomsnittlig absolutt-feil. Hydrogrammene vil derfor bli vurdert objektivt med disse størrelsene, men også visuelt for å verifisere trender og timing for skaleringsresultatene. Videre er det lagt vekt på en sammenligning av de skalerte serienes varighetskurver opp mot den målte. Siden dette temaet i Norge er mest aktuelt i forbindelse med kraftutbygging er en god varighetskurve ansett som viktig. 5-persentilen, den doble middelvannføringen og hvilken persentil denne tilsvarer, er hentet ut fra varighetskurven for en vurdering og visualisering av viktige størrelser innen vannkraftutbygging og hvordan de endres med ulike valg av skaleringsfelt.

Metoden kartkorrelasjonsmetoden måles opp mot kalles i denne rapporten for tradisjonell skalering og innebærer en subjektiv vurdering av beste skaleringsfelt. I denne oppgaven

er tradisjonell skalering søkt gjort etter normal norsk praksis, slik det er oppfattet at er vanlig å gjøre for eksempel i kraftbransjen. Archfield og Vogel (2010) er sammenlignet med skalering ved nærmeste stasjon, men det er i dette studiet vurdert som mer relevant å velge skaleringsstasjon på en måte som ligner mest mulig på hvordan det gjøres hovedsakelig i Norge. Ulempen ved å gjøre det slik, er at en mister all objektivitet i valg av referansestasjon og det er naturlig i subjektive vurderinger at det oppstår kilder til feil i studieresultat. Derfor vil vurderingene som går på valg av skaleringsfelt for tradisjonell skalering bli gjennomførlig diskutert i kapittel 5.2.

Stasjoner som ble nedlagt før 2007 gjør de uaktuelle for direkte skalering til NTE-feltene. I situasjoner hvor kartkorrelasjonsmetoden har valgt slike stasjoner for beste skaleringsfelt til et NTE-felt, er det oppgitt og feltet med nest høyest korrelasjonsprediksjon er valgt for skalering.

Kovariablene som er valgt brukt i studiet er av forskjellig kompleksitet, men er alle valgt med grunnlag i at de har innvirkning på den hydrologiske responsen i et nedbørsfelt. Det er de samme ko-variablene som er inkludert i dette studiet som dem for Zelelew og Alfredsen (2014). Faktorer som areal, omkrets, høydedifferanser, elvelengder, helninger, nedbør og fordamping er tatt inn i de ulike variablene i tro om at de kan supplere med ytterligere informasjon om hydrologisk respons i umålte felt for å gjøre den romlige interpolasjonsstrukturen mer nøyaktig. I framtidige studier kan man utvide undersøkelsene av slike kovariabler, men i dette studiet ble det begrenset til fem ulike kovariabler som er beskrevet under:

- Compactness ratio (Cr):

$$C_r = \frac{A}{p} \quad (4.1)$$

Cr er forholdet mellom et tilsigsfelts areal,  $A$ , og omkrets,  $p$ . Større Cr gjelder for mindre kompakte felt og er relatert til mindre avrenning pr areal.

- Relief ratio (Rr):

$$R_r = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} = \frac{H_{diff}}{P} \quad (4.2)$$

Rr er forholdet mellom total høydeforskjell mellom de høyest- og lavestliggende punktene i feltet,  $H_{diff}$ , og feltets lengde,  $P$ . Verdien sier noe om feltets evne til å respondere raskt eller sakte på nedbørshendelser, siden Rr gir en indikasjon på generell helning i feltet. Feltets omkrets vil bli brukt som representativ verdi på feltets lengde i denne oppgaven.

- Drainage density (Dd):

$$D_d = \frac{\text{Total Elvelengde}}{A} \quad (4.3)$$

Dd er forholdet mellom total elvelengde og feltets areal,  $A$  og sier også noe om den hydrologiske responsen til feltet. En høy Dd betyr at det er mange elver i feltet, altså kort avstand fra alle punkter i feltet til en elv, noe som gir en kort responstid. Motsatt vil en lav Dd typisk være et felt med lange, slake sider uten dannelse av elver. Denne type felt vil ha en lengre responstid.

Arc Hydro er et tilleggsprogram til ArcGIS laget spesielt for arbeid med vann og hydrologi, som er brukt for å finne Dd (ESRI, 2013) (ESRI, 2011). Det kan lastes ned gratis og trengs for å finne variabelen Elvelengde som inngår i Dd.

- Topographic Wetness Index (TWI):

$$TWI = \ln\left(\frac{A}{\tan \beta}\right) \quad (4.4)$$

*hvor  $A$  = areal og  $\tan \beta$  er helningen i punktet for beregningen*

TWI indikerer hvilke områder og hvor mye de bidrar til avrenning ved metning av grunnen. En høy TWI vil bety at det er vått område som raskere vil gi metning og avrenning ved nedbørshendelser.

- Wetness Index (WI):

$$WI = \frac{P}{E_p} = \frac{\text{Årsnedbør}}{\text{Årlig potensiell fordamping}} \quad (4.5)$$

Mens de andre kovariablene består av utelukkende topografisk data er WI en klimatisk variabel. Denne indikerer om feltet er i et vått eller tørt hydrologisk regime. WI er en mye brukt størrelse i hydrologien og velkjent som indikator på tilgang på vann i alle verdens områder.

Som en forutsetning for ko-kriging som metode, må kovariablene ha tilstrekkelig korrelasjon med primærvariabelen  $\tau$ . Denne korrelasjonen blir målt ved Pearsons lineære korrelasjonskoeffisient  $r$  i dette studiet. Deretter blir det for hvert felt kun inkludert en kovariabel for ko-kriging, nemlig den med best lineær korrelasjon med Kendalls tau for

andre vannføringsstasjoner. På grunn av at spennet i de forskjellige kovariablene varierer med flere størrelsesordener og for å få kovariabelen i samme skala som primærvariabelen, må det foretas en normalisering av verdiene for kovariabler fra 0 til 1, der kovariabelen med høyest verdi får verdi lik 1 og lavest verdi får 0. Videre i den feltvise ko-krigingen er det likheten i kovariablene som er ansett som viktig og ikke den normaliserte størrelsen. Derfor blir den endelige variabelen, som det undersøkes lineær korrelasjon med Kendalls tau for, som vist i formel (4.6).

$$SimCoeff_{a,i,j} = 1 - \left| \left[ \frac{COV_{a,i} - \min(COV_a)}{\max(COV_a) - \min(COV_a)} \right] - \left[ \frac{COV_{a,j} - \min(COV_a)}{\max(COV_a) - \min(COV_a)} \right] \right|, \quad (4.6)$$

*for i = j = 1,2,3, ..., k*

hvor a=[Cr,Dd,Rr,TWI,WI], de ulike kovariablene, k er totalt antall felt hvor i og j angir hvilke felt det sees på.

Det er relevant med en parameter som beskriver avstanden mellom feltene, spesielt for å se om det er nærmeste felt som blir vurdert som det beste å skalere mot. I dette studiet er hvert felt tilegnet en koordinatverdi, som er valgt å være feltarealets tyngdepunkt. Dette er gjort fordi arealets tyngdepunkt, sett opp mot feltets laveste punkt som er brukt i Zelelew og Alfredsen (2014), er ment å være mer representativt for en del av parameterne som er inkludert i studiet; deriblant både nedbør og temperatur.

Programmet R har vært sentralt i arbeidet med statistiske og en del geografiske beregninger (R Core Team, 2013). R er gratis programvare og et programmeringsspråk for statistiske utregninger og grafisk fremstilling som bygger på S-språket. Studiet krever store mengder med data, både fordelt i tid og rom, som egner seg godt til analyse gjennom R. R lar seg lettest forstå og arbeides med gjennom Rstudio, som er et brukersnitt utviklet for R (RStudio, 2012). Det er som R, såkalt open source programvare og er tilgjengelig gjennom gratis nedlasting på internett. ESRI ArcMap 10.0 er også brukt for en del prosessering av geografisk data (ESRI ArcMap 10.0, 2010).

# Kapittel 5

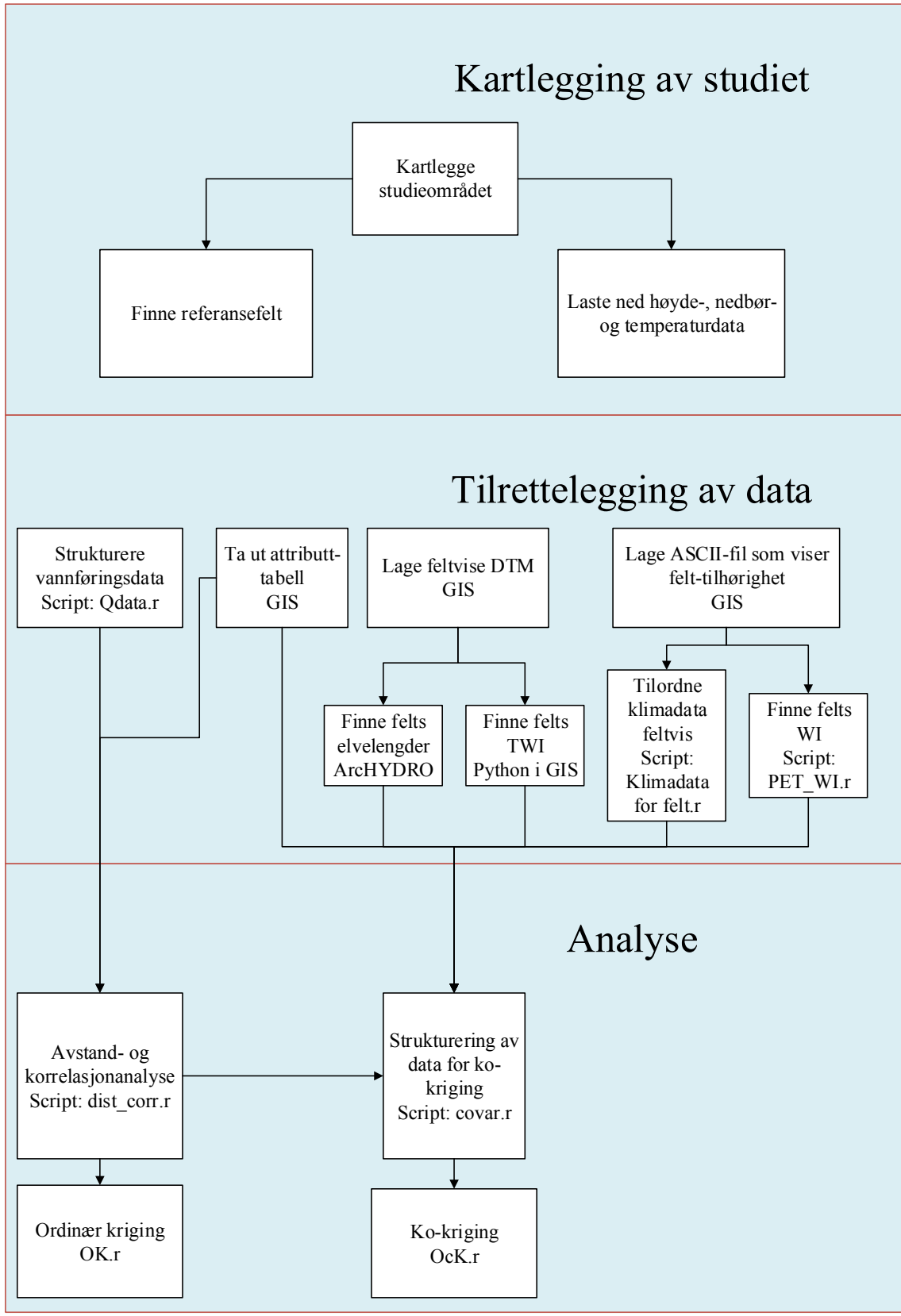
## Fremgangsmåte

I det første delkapitlet vil det bli gjennomgått i detalj hvordan fremgangsmåten for kartkorrelasjonsmetoden har vært. Det er lagt opp til en stegvis, kronologisk gjennomgang med henvisninger til operasjoner i programmene R og ArcMap10. Det er forsøkt fremstilt som en forståelig oppskrift, med råd og tips fra dette studiets erfaringer, for fremtidig bruk av metoden.

I andre del er det feltvis gjort rede for vurderinger for valg av skaleringsfelt ved tradisjonell skalering, for referanse i resultatkapitlet.

### 5.1 Kartkorrelasjonsmetoden

For en strukturert og forståelig gjennomgang av arbeidet i kartkorrelasjonsmetoden er det, som vist i Figur 5.1, valgt å dele kartkorrelasjonsprosessen inn i tre deler; kartlegging, tilrettelegging/strukturering og analyse. Videre er det delt inn i metodens ulike prosesser, med henvisning til script for R eller i GIS. I tilfeller hvor det er nevnt at det trengs filer av et spesielt format, er eksempler av hvordan filformatet ser ut å finne i vedlegg H.



Figur 5.1: Flytskjema for kartkorrelasjonsmetoden

## Fase 1: Kartlegging av studiet

### 1. Kartlegge studieområdet

For å skaffe oversikt over studieområdet og forberede kartfiler for bearbeiding av data ble det benyttet NVEs LAVVANN-tjeneste og derfra lastet ned en to-siders rapport i pdf og en kartfil for hvert av feltene i shape-format. Alle data er lagt ved digitalt. Denne kartfilen inneholder data for mange ulike parametere som NVE bruker, som arealtyper og avrenningsverdier for eksempel. Dette er verdifullt for tilrettelegging av data i tillegg til generell opplysning. ArcGIS ble brukt for å samle alle feltene i samme kartlag for å kunne gjøre en god vurdering av aktuelle referansefelt.

### 2. Finne referansefelt

Videre må det gjøres et bruttoutvalg av referansestasjoner fra NVE Hydra II basert på geografisk avgrensning. I høstens prosjektoppgave ble dette gjort før studiefeltene fra NTE ble kjent, noe som medførte et utvalg på 93 referansestasjoner siden blant annet hele Sør-Trøndelag ble inkludert. Da studiefeltene ble kjent ble dette tallet redusert til 44, kun ved finere geografisk utvelgelse.

Senere, ved arbeid med masteroppgaven, ble det tydelig at dette tallet burde reduseres ytterligere. Enkelte av dataseriene var så korte at de gav mer utfordringer enn sikre korrelasjonsverdier, andre viste seg å være regulerte og magasinerte og ubrukelige for studiet.

Kildene til data for referansefelt er, som skrevet under kapitlet for data, NVE LAVVANN for kartfiler og NVE Hydra II for vannføringsserier. Nedhenting av data fra LAVVANN kan være et tidkrevende arbeid og for nye prosjekt er det derfor anbefalt å gjøre en skikkelig analyse av referansefelt tidlig i prosjektet for å unngå merarbeid. Et førsteutvalg bør kun være basert på grov geografisk nærhet. Deretter vil det være fordelaktig å laste ned vannføringsdata og kvalitetssikre seriene for kontinuitet og serielengder. Det ble oppdaget i dette studiet at lengdene som er oppgitt i NVEs detaljoversikt ikke stemte for alle stasjonene. For dette arbeidet er det publisert flere rapporter fra NVE som har vært til hjelp. «Rapport nr. 16 – 2004 *Aktive vannføringsstasjoner i Norge*»(2004) er kun et eksempel av flere som bør brukes. Nettsidene deres er til stor hjelp og karttjenesten NVE Atlas er god, spesielt før man får lastet ned kartfilene selv.

For vurdering av dataserier og om de egner seg til bruk som referansestasjoner i et slikt studium, er det anbefalt en nulltoleranse for regulerte serier. I områder hvor det er mangel på referanseserier kan man manipulere serier og felt ved overføringer av vann fra eller til felt, men magasin bør unngås. I dette studiet er to referanseserier regulerte, men til en så liten grad at de er vurdert som egnet for studiet likevel (NVE, u.d.).

Lengdene på dataseriene må også vurderes. For dette studiet ble vannføringsdata fra og med 1916 sett på i korrelasjonsstudiet, men avsluttede serier av kortere lengde enn 10 år ble utelukket. For fremtidig bruk av kartkorrelasjonsmetoden vil det være gunstig å inkludere eldre og korte serier, hvis data er kvalitetssikret, enten av NVE eller egenhendig. Det vil føre til flere kjente punkter i den romlige flaten som skal interpoleres ved kriging og vil medføre større nøyaktighet. For at dette skal være fordelaktig for resultatene er det gunstig med lange serier som overlapper både eldre og nyere serier for å sikre kontinuitet og korrekte verdier for korrelasjon.

Vannføringsdata fra NVE ble hentet ned i .csv-format med 20 stasjoner i hver fil. Dette er et format som fint lar seg arbeide med gjennom R, men som krever litt bearbeiding før analysene kan skje.

### 3. Laste ned tilleggsdata for kovariabler

For ko-variablene Drainage density, Topographic Wetness Index og Wetness Index trengs det høyde-, nedbør- og temperaturdata. Temperatur- og nedbørsdata som er brukt i dette studiet er store mengder data som krever mye plass før bearbeiding. Høydedata kalles ofte for Digital TerrengModell(DTM) i denne sammenheng. Kilder og omtale av usikkerhet i data er behandlet i kapittel 0.

## **Fase 2: Tilrettelegging av data**

Alle scriptene som er nødvendig for å utføre kartkorrelasjonsmetoden er lagt ved oppgaven og blir referert til i teksten. Scriptene er forsøkt laget slik at andre kan forstå og bruke dem som mal ved senere bruk av metoden, blant annet ved stegvis tilnærming og korte forklaringer i scriptene.

### 1. Strukturering av vannføringsdata gjennom scriptet Qdata.r

Vannføringsdataene fra NVE må struktureres for analysen. Scriptet Qdata.r viser hvordan det ble gjort i detalj, men hovedsakelig er formålet å samle alle referanseseriene i én fil med lik start- og sluttdato. For døgn uten målinger har NVE-data verdi -9999 som ingen data-verdi og bør endres til NA(not available).

For enkelte felt kan det være nødvendig med manipulasjon av data. I dette studiet var det tre serier som ble regulerte underveis i måleserien. Data for tiden etter reguleringen trådte i kraft ble gjort om til NA-data.

Scriptet skriver alle referanseseriene til samme fil som klargjøres som innputt til senere analyse.

### 2. Hente ut relevante verdier som attributt-tabell fra kartfilene i GIS



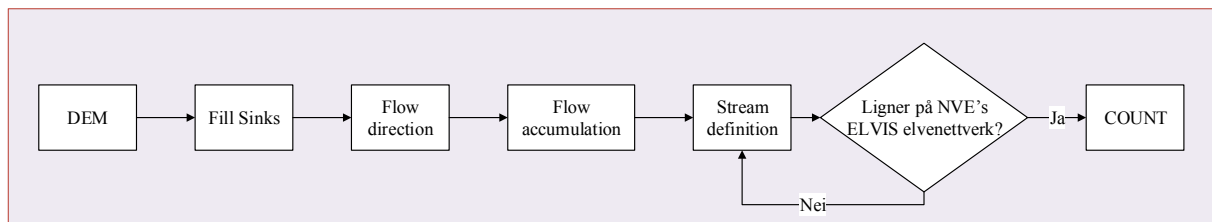
Kartfilene hentet ned fra LAVVANN innehar mye informasjon. Avhengig av hvilke kovariabler som er valgt kan topografiske variabler hentes ut fra attributt-tabellen i ArcGIS. For dette studiet ble areal, omkrets/perimeter og koordinater i grader og UTM klippet ut og lagret i .txt-format for bruk i R.

Koordinater i grader er avhengig av en definert geografisk projeksjon i ArcGIS. Da vil disse koordinatene komme direkte ut i tabellen med attributter.

### 3. Digital terrengmodell for alle felt

For kovariablene Drainage Density(Dd) og Topographic Wetness Index(TWI) inngår det variabler som må finnes gjennom analyse av terrengmodellen i ArcGIS. Det ble derfor laget en DTM for hvert felt i studiet. I ArcGIS gjøres dette enkelt med funksjonen Clip og feltvise kartfiler i shape-format fra LAVVANN, i kombinasjon med hele områdets DTM.

#### a. Finne elvelengde gjennom Arc Hydro

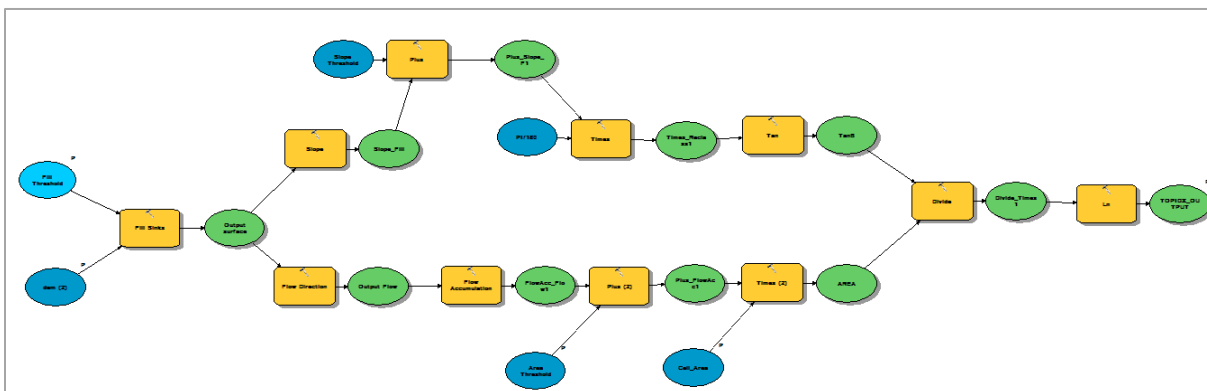


Figur 5.2: Flytskjema for å finne elvelengde i ArcHYDRO

Skjemaet over viser flyten av kommandoer i Arc Hydro som må gjøres for å finne elvelengde for variabelen Dd. Prosessen vil ende i et kartlag som viser elvenettverket i hvert felt. Det er gjort slik for hvert felt, med ønske om å ende opp med et elvenettverk mest mulig likt elvenettet i NVEs ELVIS-database. Det er i den siste operasjonen, kalt «stream definition», hvor man bestemmer hvor stort areal som må akkumuleres før man definerer det som en elv. Ved å justere dette tallet endrer man definisjonen av elver i kartlaget, alt etter hvordan det ser ut på NVE ATLAS sin karttjeneste med kartlag for ELVIS elvenettverk aktivert.

Den endelige verdien for variabelen «Elvelengde» er tatt ut fra attributt-tabellen, som antallet celler/piksler som er blitt definert som elver. Ved å dele dette tallet på arealet er Dd utregnet. Siden kovariablene normaliseres senere, er ikke arealenhet av relevans her.

## b. Python-modell for TWI

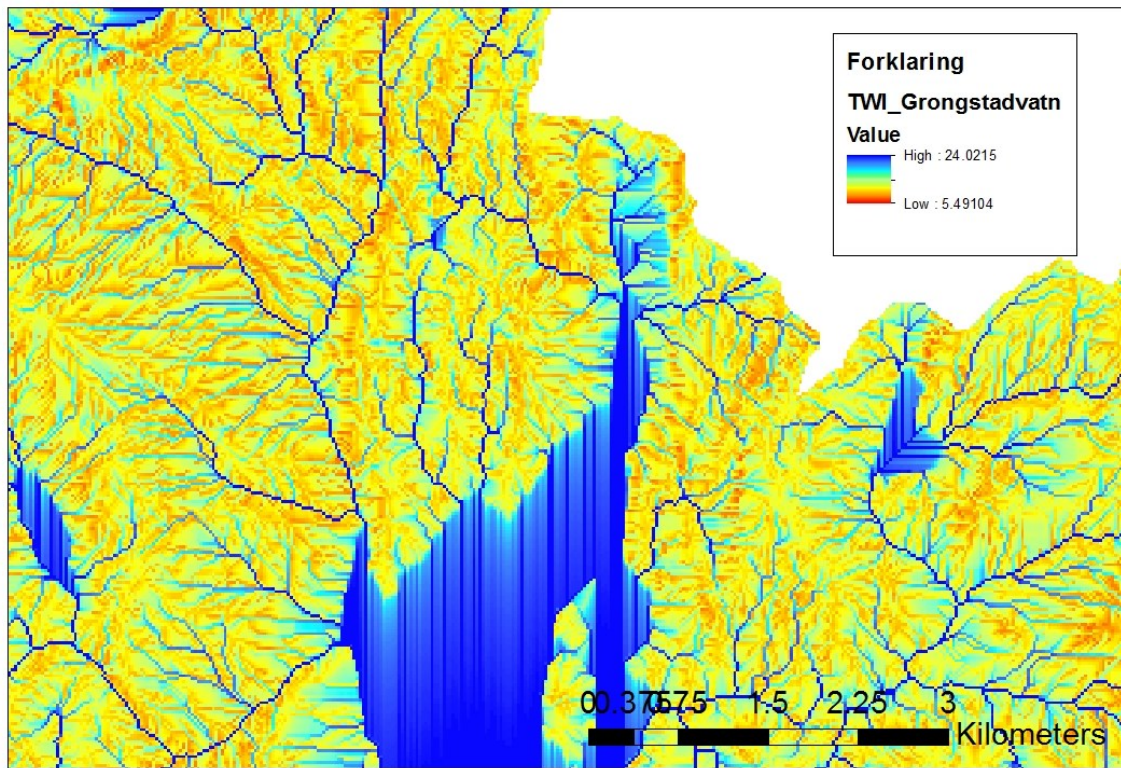


Figur 5.3: Python-modell for TWI

Modellen i Figur 5.3 over er bygget i Python i ArcGIS for utregning av kovariabelen TWI og er lagt ved rapporten i vedlegg F for bedre oppløsning og nøyere studie av de ulike kommandoene i modellen. Figuren i rapporten er ment som en illustrasjon for å forstå gangen i utregningen sammen med forklaringen under, ikke for fil- og kommandonavn.

Utgangspunktet for modellen er den digitale terrengmodellen, altså høydedata. Etter at denne er behandlet med kommandoen «Fill sinks» går det to stier. Øverst for å regne ut «tan  $\beta$ », altså helninger i feltet, og nederst for å finne tilsigsareal. De to siste kommandoene deler tilsigsarealet på «tan  $\beta$ » før den finner den naturlige logaritmen og dermed utputt som er et kartlag som viser TWI for hver celle i feltet. Et utsnitt av utputten fra denne modellen vises i figuren under som eksempel. Videre må gjennomsnittlig TWI finnes gjennom kommandoen MEAN under ZONALSTAT i ArcGIS. Dette blir feltets endelige TWI og eksporteres/kopieres til en tabell i .txt format.

I tillegg til den digitale terrengmodellen er det tre verdier som må settes inn for utregning av modellen. Disse er «Fill Threshold,» «Area Threshold» og «Cell Area.» Fill Threshold er en verdi i fill sinks-kommandoen som angir grensen for hvor dyp en forsenkning i terrenget kan være før den fylles med vann. For hele studieområdet er den satt til 10 meter. Area threshold angir hvor stor del av en celle som skal være i feltet før den tas med som en del av feltet. Dette er inkludert som en del av modellen for eventuell bruk, men ble satt til 1 i dette prosjektet. Altså er kun celler som i sin helhet inngår i feltet tatt med i utregningen av TWI. Cell area er viktig og angir flatearealet for hver celle. Kartverkets DTM bestemmer denne og er 25 m x 25 m altså 625 m<sup>2</sup>.



Figur 5.4: Kartutsnitt fra beregnet TWI for Grongstadvatn

I den øvre stien er det to blå celler med innputt. Den første er for å unngå  $\tan(\beta)=0$  og dermed ugyldige verdier for TWI. Det er derfor valgt å legge inn en addisjon av  $0.1^\circ$  helning til alle helninger. Den andre gjør helningen om fra grader til radianer ved å multiplisere helningen med  $\pi/180$ , noe som er nødvendig for tangens-funksjonen som gjøres i steget senere.

Det er mulig å finne TWI for ett og ett felt eller for alle feltene samtidig. Et kartutsnitt som viser eksempel av TWI for Grongstadvatn er vist i Figur 5.4. Avhengig av størrelsen på studieområdet kan modellen kjøres for hele området på en gang. Det vil da være en stor operasjon som vil ta tid. Det er likevel foretrukket metode. Da kan man siden finne gjennomsnittlig TWI for alle feltene i samme operasjon, hvis man har alle nedbørsfeltene slått sammen i samme kartlag.

#### 4. Tilrettelegging av klimatisk data

Nedbør- og temperaturdata foreligger som daglige, griddet data i store ascii-filer. Metoden som er brukt for å finne kovariabelen Wetness Index(WI), inkluderer gjennomgang av alle data og derfor er R, eller lignende program, helt nødvendig som verktøy. Kartfilene med felldata konverteres til likt format slik at det er klart for analyse i

R. Denne konversjonen kan framstå som vanskelig, men letter arbeidet senere og bidrar til en nøyaktig utregning av WI. For å hjelpe til og få prosessen minst mulig tidkrevende er derfor følgende avsnitt mer detaljbeskrivende i forhold til enkelte potensielt vanskelige operasjoner.

ASCII-filene består av store matriser med data. I dette tilfellet er det forståelig å tenke på det som en flate hvor hver celle i matrisen er en «piksel» i flaten. For temperaturfilene innehar denne cellen modellberegnet temperatur for dette punktet i flaten. For kartfilen i ASCII-format bør denne fortelle hvilke celler i flaten som blir dekket av hvilke felt. Det er gjort ved å definere en unik ID for hvert felt i ArcGIS, noe programmet gjør automatisk. En utfordring oppstår når hver celle i en ASCII-fil kun kan ha én verdi, mens det av våre studiefelt finnes større felt som består av mindre delfelt som også inngår i studiet. For å løse dette, ble feltene sortert etter Hmin, den laveste høyden i feltet. Dette er en variabel som er lagt inn i kartfilene fra LAVVANN. Ved å la felt med de høyeste Hmin overskrive dem med lavere Hmin, unngår man at delfelt blir utelatt i ASCII-filen. Senere, i R, må dataene manipuleres tilbake slik at de store feltene også får talt med sine respektive delfelt for utregning av WI.

Når alle feltene som inngår i studiet er lagt inn som shape-filer i ArcGIS og slått sammen til ett kartlag ved kommandoen «MERGE», konverteres alle shape-filene til en raster-fil. Dette som et mellomsteg for å kunne bruke verktøyet «Raster to ASCII» under «Conversion Tools» i ArcGIS. For at cellene i ASCII-filen med nedbørsfeltene skal beskrive nøyaktig de samme flatene som tilsvarende celler i ASCII-filene med klimadata, må filene samsvare. Klimadata må sjekkes for koordinater og oppløsning før man skriver raster til ASCII-fil med felldata. For å definere «vinduet» ASCII-filen skal vise, bør man trykke knappen for «Environments...» i vinduet for «Raster to ASCII.» Om man da har lagt inn en ASCII-fil med nedbør eller temperatur kan man velge enkelt samsvarende innhold i koordinater.

a. Tilordne klimadata for alle feltene

Scriptet «Klimadata\_for\_felt.r» leser inn ASCII-filen med felt-IDene og lager nye filer med gjennomsnittlige dataverdier for alle feltene i studiet. Dette scriptet foretar også de nødvendige omregningene for de store feltene som mistet delfeltene til annen id i prosesseringen av ASCII-fil i GIS. Dette gjøres ved å ta dataene fra delfeltene inn i tillegg til det arealet som er eget, og regne for vektet gjennomsnitt av data.

b. Finne ko-variabelen WI

Siste steg for å finne kovariabelen WI er scriptet «PET\_WI.r.» Dette tar inn de daglige klimadataene for alle feltene og gjør om til månedlige data. Temperatur tas gjennomsnittet av, mens nedbøren akkumuleres. Fra månedstemperaturene og breddegrad, som tas inn fra attributt-tabellen i punkt 2, regnes potensiell

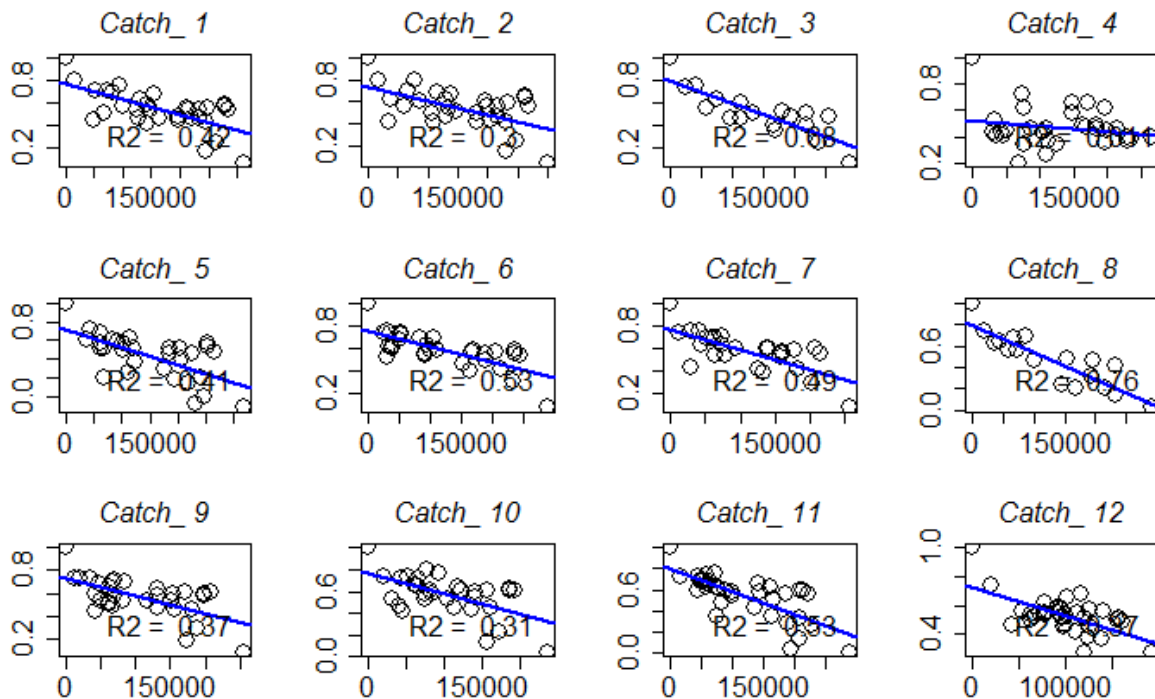
evapotranspirasjon(PET) som inngår i WI. Thornthwaites metode er brukt i dette studiet, men også Penmans eller andre kan brukes. Etter en videre konvertering fra månedlige verdier til årlige, finnes den endelige kovariabelen WI for hvert felt.

### Fase 3: Analyse

#### 1. Avstand- og korrelasjonsanalyse

I scriptet `dist_corr.r` gjøres den første romlige analysen. Koordinater til referanseseriene tas inn sammen med vannføringsseriene og korrelasjonen og den euklidiske distansen mellom stasjonene finnes. Scriptet kan, avhengig av hvor lange dataserier som inkluderes, ta lang tid å kjøre. Korrelasjonen mellom hvert stasjonspar finnes i form av Kendalls korrelasjonskoeffisient  $\tau$ , men for ikke-overlappende serier skrives den til 1. Det er selvsagt ikke riktig og dermed viktig å være klar over. Det er kodene i steg 5 i scriptet som passer på å omgjøre disse til NA-data.

Det er også lagt inn kommandoer for plotting av alle stasjonenes avstand-korrelasjonsplott. Det er nyttig for å se i hvor stor grad det er sammenheng mellom avstand og korrelasjon for alle referansefeltene i studiet, slik det er vist for NTE-feltene under kapitlet for data. I Figur 5.5 vises eksempler for distanse-korrelasjonsplott fra studiet, hvor det er korrelasjonsverdi på y-aksene og distanse i meter på x-aksene.



Figur 5.5: Distanse og korrelasjon for tolv referansefelt

## 2. Strukturering og klargjøring av data for ko-kriging

Data for alle variablene som inngår i ko-krigingsanalysen er funnet på ulike vis og bør samles i en tabell for enkelhets skyld. Samtidig må verdiene for kovariablene normaliseres i henhold til ordinær ko-kriging med flere kovariabler. Scriptet `covar.r` leser inn tabeller for alle kovariabler sammen med koordinater og tau-variabelen for alle felt. For at scriptet som utfører ko-kriging senere skal fungere best mulig, bør det lages to datasett fra dette scriptet; Ett datasett kun for referansefeltene, men også ett hvor studiefeltene fra NTE er inkludert med NA-verdier for tau.

## 3. Kriging

Etter at distanser og korrelasjon er funnet fra scriptet `dist_corr.r` er det klart for ordinær kriging gjennom scriptet `OK.r`. For hvert referansefelt leses filen fra `dist_corr.r`-scriptet, med korrelasjon og avstand til andre felt, inn, slik at området for kriging er definert og data er klare. Koder for ordinær kriging av kun korrelasjonsvariabelen er også inkludert i scriptet for ko-kriging, for sammenligning. Å ha det i et eget script, `OK.r`, gjør det dog mulig å gjennomføre en slik ordinær kriging før alle kovariabler er ordnet.

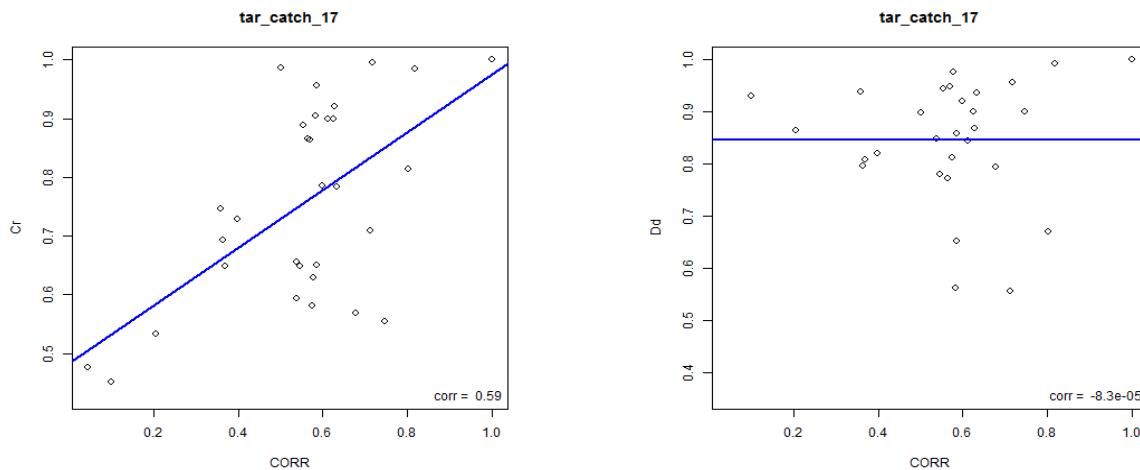
Grunnlaget for kriging er en variogram-modell som er utarbeidet fra det empiriske variogrammet. For dette finnes ulike metoder, som blant annet inkluderer visuell tilpasning. I denne oppgaven er det vurdert som viktig å finne en lite komplisert og standardisert metode med minimal grad av subjektivitet. Dette gjelder både for å kunne vurdere resultatene av kartkorrelasjonsmetoden uten for store feilkilder, men også fordi det bidrar til å gjøre metoden mindre komplisert og dermed lettere tilgjengelig for bruk. Det er ansett som lite realistisk å innføre kartkorrelasjonsmetoden i Norge om det krever for mye vurderinger av vanskelig teori.

I scriptet `OK.r` er kodene beholdt for diverse fremgangsmåter, også for visuell sjekk av at data er korrekte. For denne oppgaven er det imidlertid brukt automatisk tilpasning av variogram-modellen gjennom R-pakken 'automap' og funksjonen 'autoKrige' som utgangspunkt før tilpasning av modell-parameterne. Alle de fire forklarte typene av variogram-modeller er inkludert i funksjonen og er valgt med grunnlag i minste kvadraters sum i forhold til det empiriske variogrammet. Initialverdiene til parameterne sill, nugget og range finnes også gjennom standardiserte metoder. 'autoKrige' krever dermed ingen input-verdier eller visuelle tilpasninger og er derfor tatt i bruk som utvelgelsesmetode. Videre kan man da bruke de estimerte verdiene fra 'autoKrige' som innputt i funksjonen 'likfit' som, basert på maksimert sannsynlighet estimerer de endelige parameterne. Dermed er modellen som videre er grunnlag for romlig interpolasjon i største grad objektiv.

Alternativt er det i scriptet beholdt koder for mer tradisjonell tilpasning med visuell inspeksjon og kryssvalidering for å vurdere prestasjon av ulike modeller.

#### 4. Ko-kriging

Som grunnlag for valg av hvilken ko-variabel som skal inngå i et felts ko-kriging er det gjort en enkel lineær korrelasjonsanalyse. For hvert felt er den ko-variabelen valgt som viser best lineær korrelasjon med primærvariabelen  $\tau$ . I Figur 5.6 er vist to eksempler fra samme referansefelt, men med to ulike kovariabler. Legg merke til at kovariablene for hvert felt ble normalisert med verdiene 0 til 1 etter hvor lik verdi i forhold til feltet det skulle kriges for og spennet av verdier den har. For dette referansefeltet, nummer 17 Skjellbreivatn, viser variabelen «Compactness ratio» en mye bedre korrelasjon med vannføringskorrelasjonen til andre felt enn hva tilfellet er for variabelen «Drainage density.» Dette er gjort for å ivareta prinsippet om korrelasjon mellom kovariabelen og primærvariabelen i ko-krigningsanalyse. Scriptet som utfører analysen er `Covariables_corr.r`, og de samme kodene finnes også i `OcK.r`.



Figur 5.6: Korrelasjon mellom primærvariabel og kovariablene Cr og Dd for Skjellbreivatn

`OcK.r` er scriptet som gjennomfører ko-kriging fra alle referansefelt for studieområdet. Når kovariabel for et felt er valgt må det tilpasses en variogram-modell som best beskriver den romlige variasjonen til kovariabelen i henhold til teorien for ko-kriging med flere variabler. Dette blir gjort på samme måte som for primærvariabelen, med automatisk tilpasning og minste kvadraters sum.

Modellen som skal tilpasses for ko-kriging blir funnet gjennom variogrammene både for primær- og kovariabelen, i tillegg til kryssvariogrammet. For å finne den endelige modellen, må alle de ulike variogram-modellene dele samme type og 'range'-parameter. Når den endelige modellen er klar blir det estimert for hele studieområdet. Scriptet har koder som lager kart med prediksjonene, tabeller for sammenligning mellom kriging og ko-kriging, kryssvalideringsresultater og variogramparametere.

For ytterligere forståelse av metoden og matematikken som er brukt for ko-kriging vises det til utfyllende kommentarer til kommandoene i scriptene vedlagt, i tillegg til veiledningen til R-pakken gstat (Pebesma & Graeler, 2014).

For et endelig valg av skaleringsfelt for NTE-feltene blir det i OcK.r-scriptet laget en tabell med korrelasjonsprediksjon for de 13 koordinatene som tilsvarer NTE-feltene for hvert referansefelt. Disse må leses inn og for hvert av de 13 feltene velges det av de 35 referansefeltene som har predikert høyest korrelasjon, så fremt de har data for samme periode som målestasjonen til NTE-feltet slik at sammenligning kan skje.

Når skaleringsfelt fra begge metodene var valgt ble skaleringen utført i scriptet Skalering.r. Dette scriptet innehar også koder for plotting av hydrogrammer, varighetskurver og utregning av forskjellige vannføringsstørrelser for sammenligning.

## 5.2 Tradisjonell skalering

Også for å få oversikt over tilgjengelige skaleringsserier for den tradisjonelle metoden er NVEs kartapplikasjon LAVVANN tatt i bruk. Karttjenesten egner seg godt fordi man kan markere sitt aktuelle, umålte felt og finne plasseringer for dataserier i nærheten med NVEs serienummer synlig.

Stasjonenes serienumre brukes videre for å finne informasjon om stasjonene i tabeller laget av NVE. Geografisk informasjon finnes i tabellen «Stasjonsinformasjon, Geografisk nøkkelinformasjon» og oversikt over dataperioder i tabellen «Detaljoversikten.» (NVE, u.d.) (NVE, u.d.) Da er det gjort et utvalg av tilgjengelige stasjoner og for utdypende informasjon lages en lavvannsrapport i pdf-format for hvert felt med vannføringsindekser, klimatiske og geografiske parametere. Da er man sikret et solid grunnlag for valg av skaleringsfelt.

Denne fremgangsmåten er fulgt for alle de 13 NTE-feltene i studiet for å finne beste skaleringsfelt. I det følgende avsnittet forklares kort hvilke vurderinger som er gjort for valg av skaleringsfelt for alle studiefeltene. Det presiseres at det i tillegg til kartutsnittet som er vist for hver stasjon, er gjort søk for potensielle skaleringsfelt lengre unna.



### 5.2.1 Bøla

I vassdrag 128 er det flere stasjoner som vises på kartet, men i detaljoversikten viser det seg at kun 128.5 Støafoss, av de som er nært Bøla, har vannføringsdata av nyere data. 128.10 som også bør inkluderes i geografisk grovsøk er Navlusfoss, som inngår i dette studiet som umålt felt. Der fins en serie fra 1980-1992 med vannføringsdata.

De to seriene fra vassdragsnr. 138, som kan sees i kartutsnittet, er driftsvannføring på Bogna kraftverk og magasin vannstand for dette.

Stasjonsnr. 128.5 Støafoss velges som skaleringsfelt for Bøla på grunnlag av nærhet og datakvalitet.



Figur 5.7: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Bøla

### 5.2.2 Ekorndalselva

For Ekorndalselva er det fra kartutsnittet en del potensielle skaleringsstasjoner. Vassdragsnr. 139 er den store elven Namsen, som i tillegg til å inneholde regulerte verdier, også har for stort felt til å kunne brukes for Ekorndalselva. Stasjonsnr. 139.14 Eidsvatn og 139.30 Ingahølen kunne vært aktuelle, men inneholder henholdsvis gamle og ukomplette data. For Ekorndalselva blir det et valg mellom 140.1/2 Salsvatn og 139.13 Grongstadvatn.



Figur 5.8: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Ekorndalselva

Begge feltene er større enn Ekorndalselva; Grongstadvatn velges på grunnlag av distanse og sjøareal. Salsvatn er en innsjø av et såpass mye større volum enn Grongstadvatn, at det trolig vil ha en betydelig dempingeffekt på vannføringer og således være mindre egnet for skalering til et mindre felt med mye mindre sjøareal og –prosent.

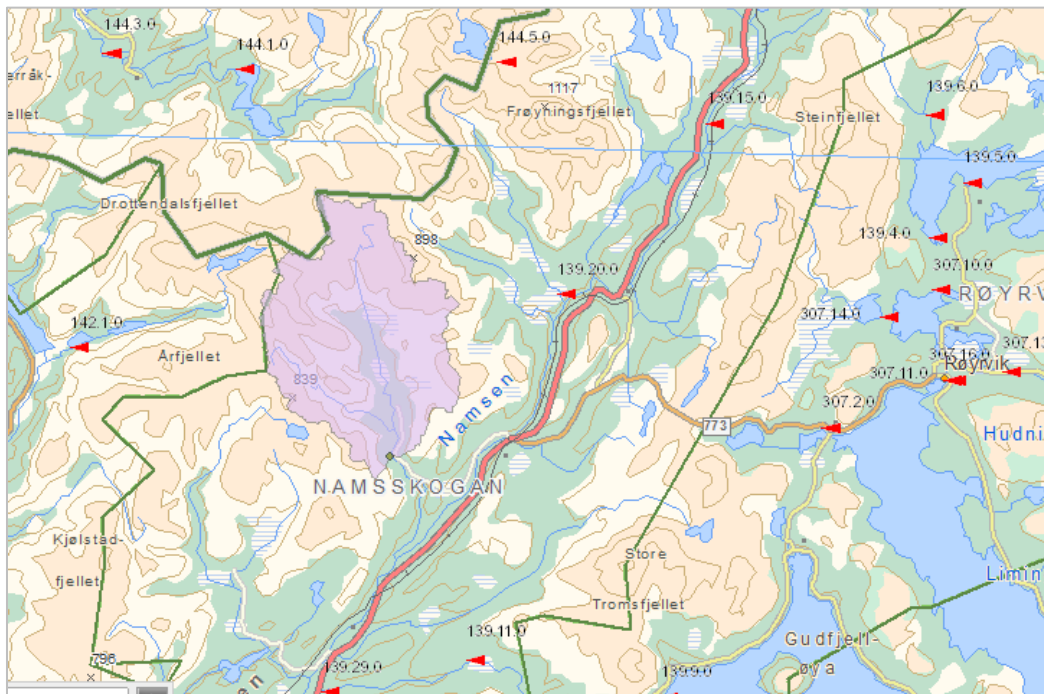
### 5.2.3 Fiskløysa VM

Feltet Fiskløysa er et delfelt til stasjonsnr. 307.5 Murusjø, som er en aktiv vannføringsstasjon med komplette data. Murusjø er det soleklare skaleringsfeltet til Fiskløysa.



Figur 5.9: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Fiskløysa

## 5.2.4 Flåttadal

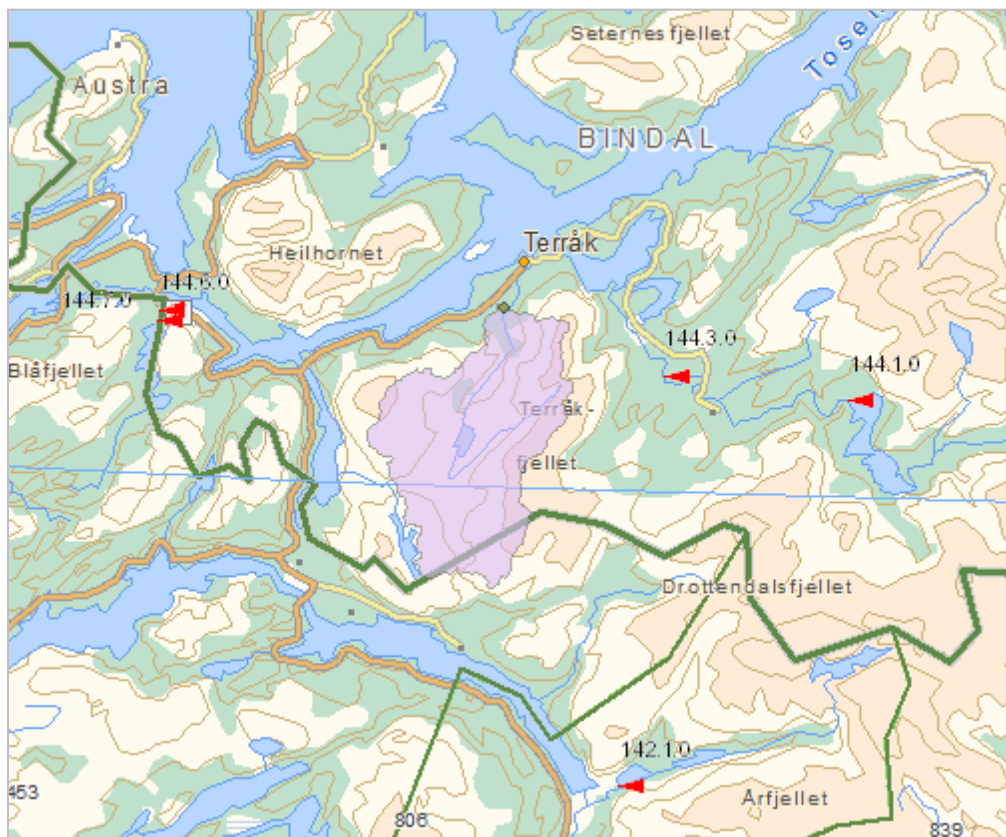


Figur 5.10: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Flåttadal

Rundt feltet Flåttadal er det potensielt mange vannføringsserier, men mange er ikke aktuelle for skalering på grunn av regulering og eldre dataperioder. Dog er 139.20 Moen, 144.1 Åbjørvatn og 142.1 Første Aunvatn alle nærliggende, uregulerte felt med aktive stasjoner som er aktuelle for skalering. Basert på NVEs retningslinjer (Væringstad, 2008) om blant annet areal, høyeste og laveste kote vurderes Moen som best egnet som skaleringsfelt for Flåttadal.

Dette tilfellet av valg av skaleringsstasjon for tradisjonell skalering viser marginene og de subjektive vurderingene som inngår i metoden. Flåttadal har tre jevngode skaleringsfelt og vil sådan være et interessant felt for studiet.

### 5.2.5 Hellifoss

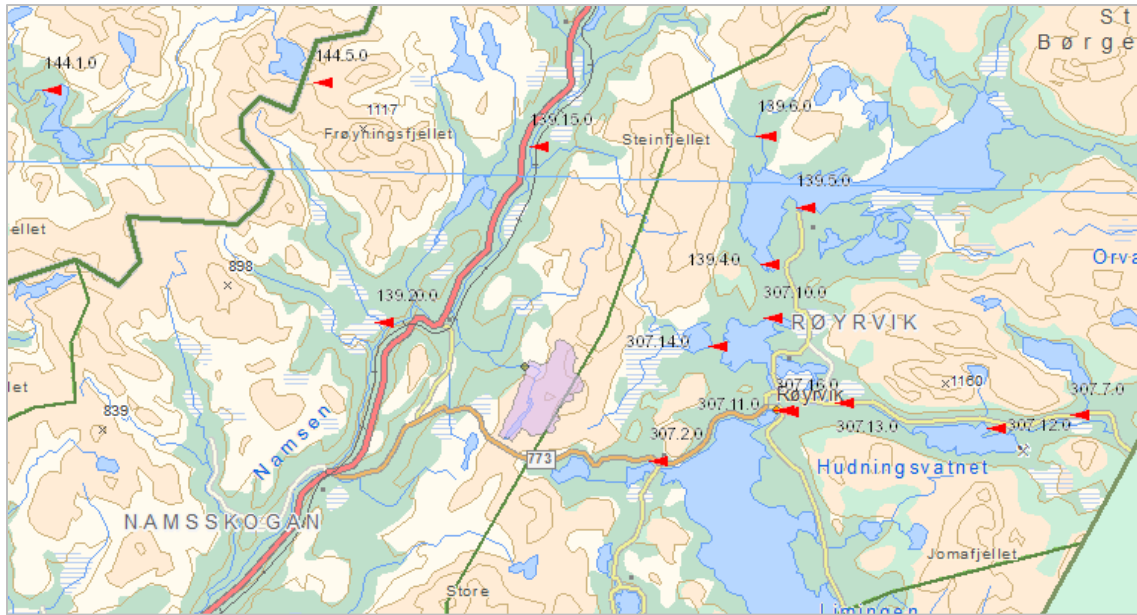


Figur 5.11: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Hellifoss

Også for Hellifoss er 144.1 Åbjørvatn og 142.1 Første Aunvatn egnede skaleringsfelt. Andre stasjoner i feltets nærhet har gamle dataperioder. For Hellifoss, som er 60,6 km<sup>2</sup>, er Første Aunvatn med 87,6 km<sup>2</sup> innenfor et arealforhold på 1,5, mens Åbjørvatn er mange ganger større med 389,1 km<sup>2</sup>. Dette gjør at Første Aunvatn velges som skaleringsfelt for Hellifoss.

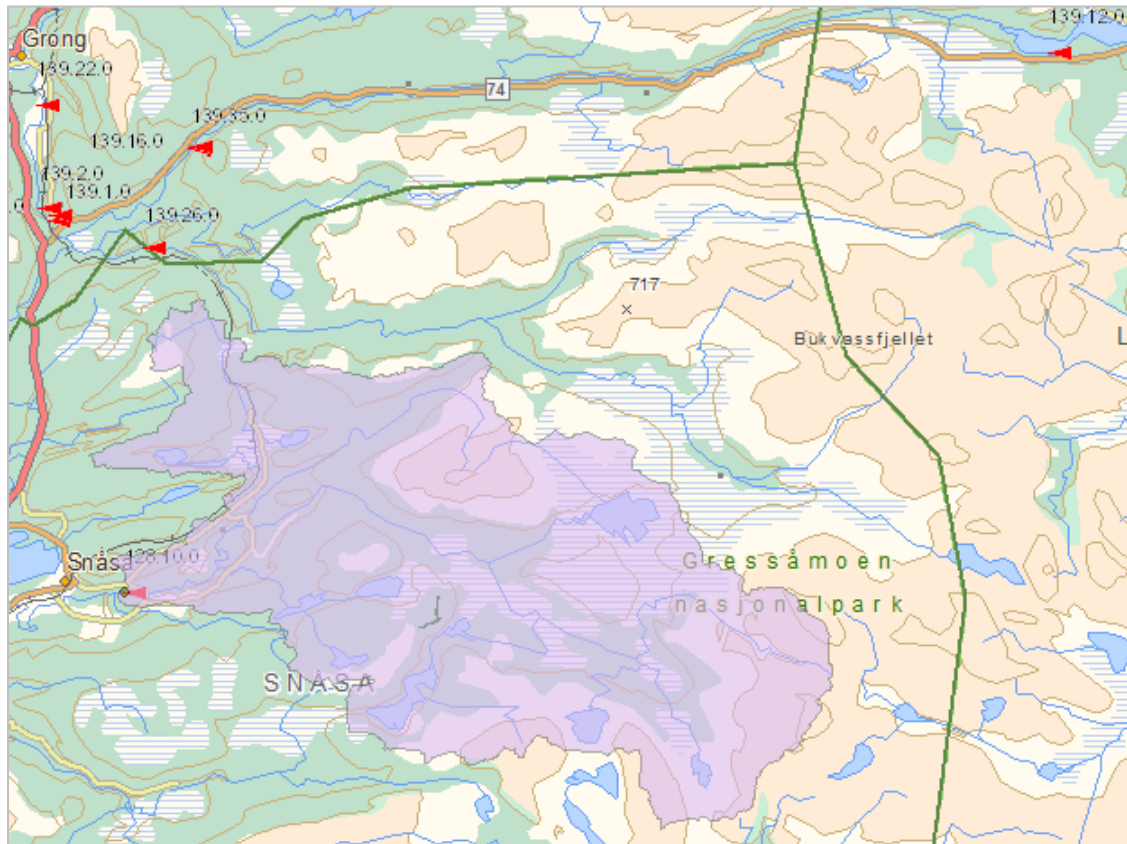
## 5.2.6 Kjerråa

Kjerråa ligger plassert i motsatt dalside av Namdalen i forhold til Flåttadal og er dermed nærmere mange vannføringsstasjoner her. Mange av feltene her er regulerte eller har eldre dataserier. Det gjelder for eksempel stasjonsnr. 307.14 Saksvatn, som har registrert en eldre serie, men inngår som et umålt felt i dette studiet. For Kjerråa blir det Moen som vurderes som beste skaleringsfelt, basert på distanse og mangel på uregulerte serier i samme nærhet.



Figur 5.12: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Kjerråa

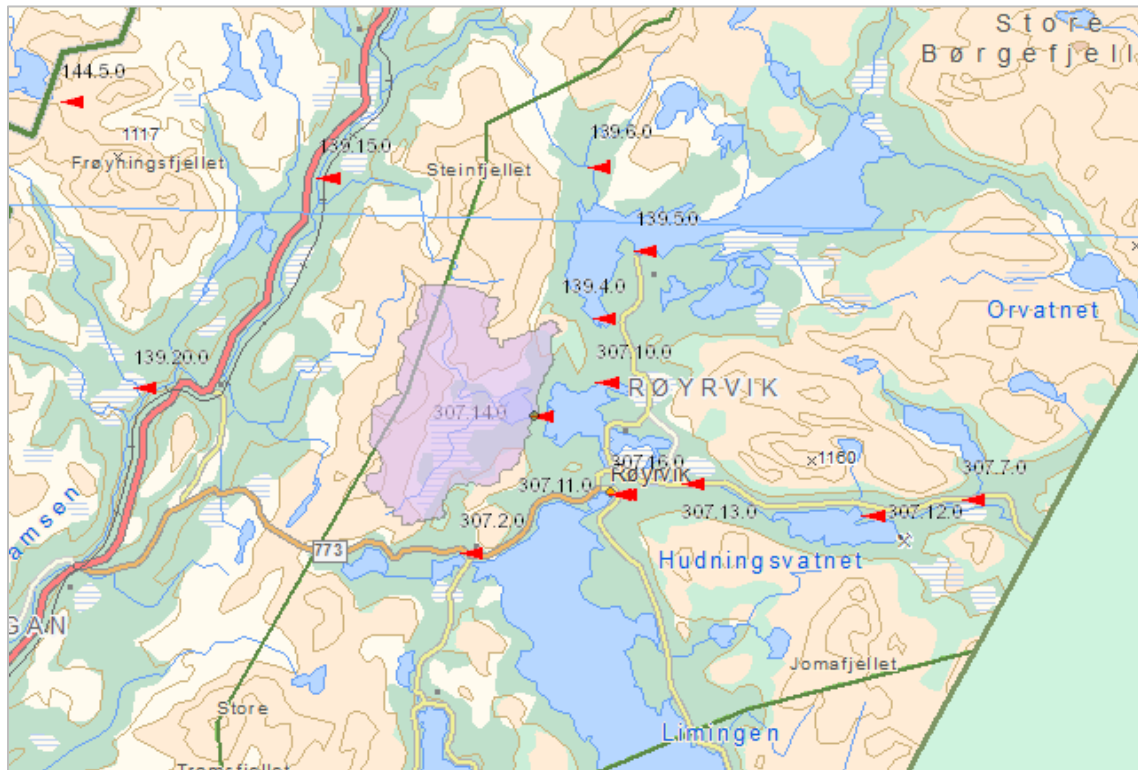
## 5.2.7 Navlusfoss



Figur 5.13: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Navlusfoss

For feltet Navlusfoss finnes en aktiv stasjon i nabofeltet mot nord. 139.26 Embrethølen har lignende feltparametere som Navlusfoss, blant annet er arealforholdet 1.14 mellom dem. Feltet vurderes som meget godt egnet for skaleringsfelt for Navlusfoss.

## 5.2.8 Saksvatn

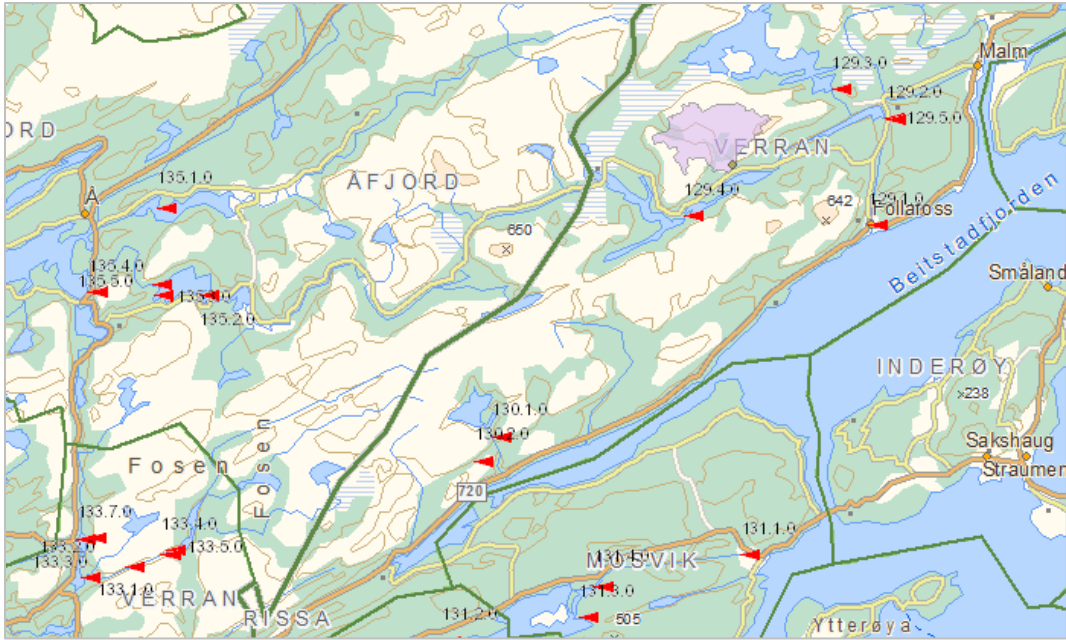


Figur 5.14: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Saksvatn

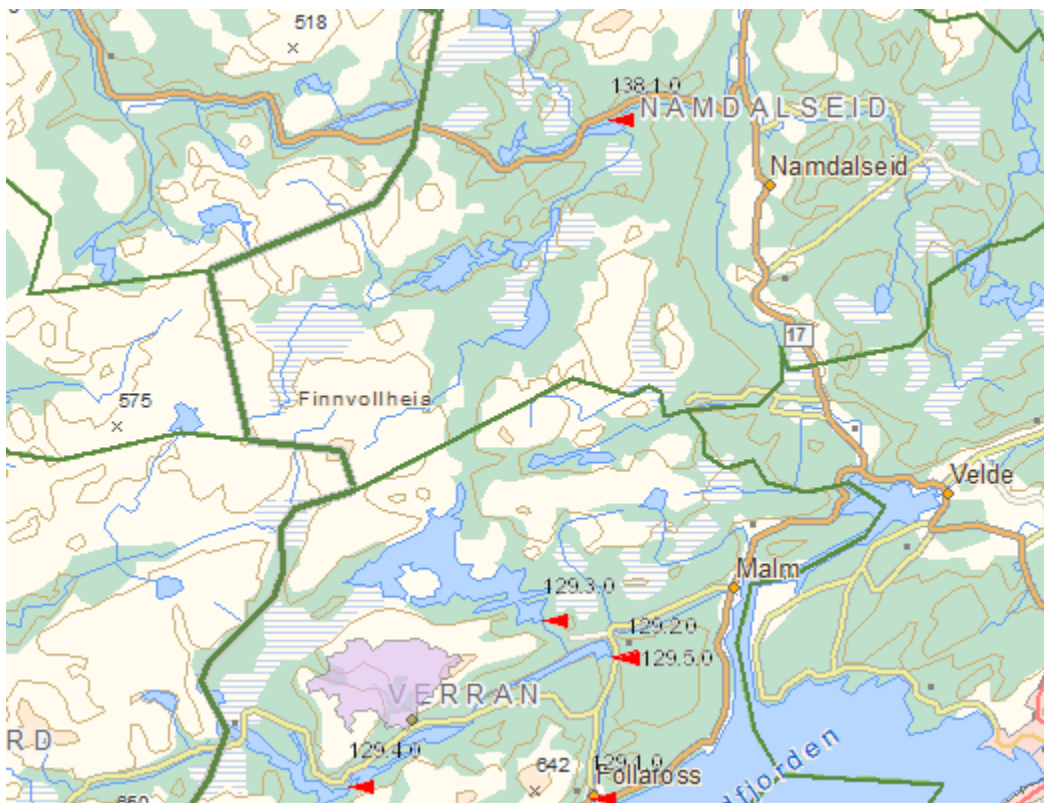
Saksvatn er et grensefelt til Kjerråa, men som tilhører vassdrag nr. 307. Det ligger derfor til grunn mange av de samme vurderingene som for Kjerråa og Moen velges som skaleringsfelt.

## 5.2.9 Sandvasselva

For Sandvasselva er det i utgangspunktet tre felt som er verdt å vurdere som skaleringsfelt; 135.1 Stordalsvatn, 133.3 Krinsvatn og 138.1 Øyungen. 135.1 Stordalsvatn ble lagt ned i 2009 og siden data fra Sandvasselva kun foreligger fra juni 2011 kan ikke Stordalsvatn brukes for dette feltet. For areal, så vel som en del av de andre viktige feltparametrene som for eksempel høyeste og laveste koter, er Krinsvatn og Øyungen veldig like. Derfor blir avstand avgjørende for valget av skaleringsfelt og siden Øyungens feltyngdepunkt ligger 15 km nærmere enn Krinsvatns, velges Øyungen. Dette vil tas hensyn til og drøftes videre ved resultatene av skaleringen opp mot det korrelasjonen viser som det beste valget.



Figur 5.15: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Sandvasselva



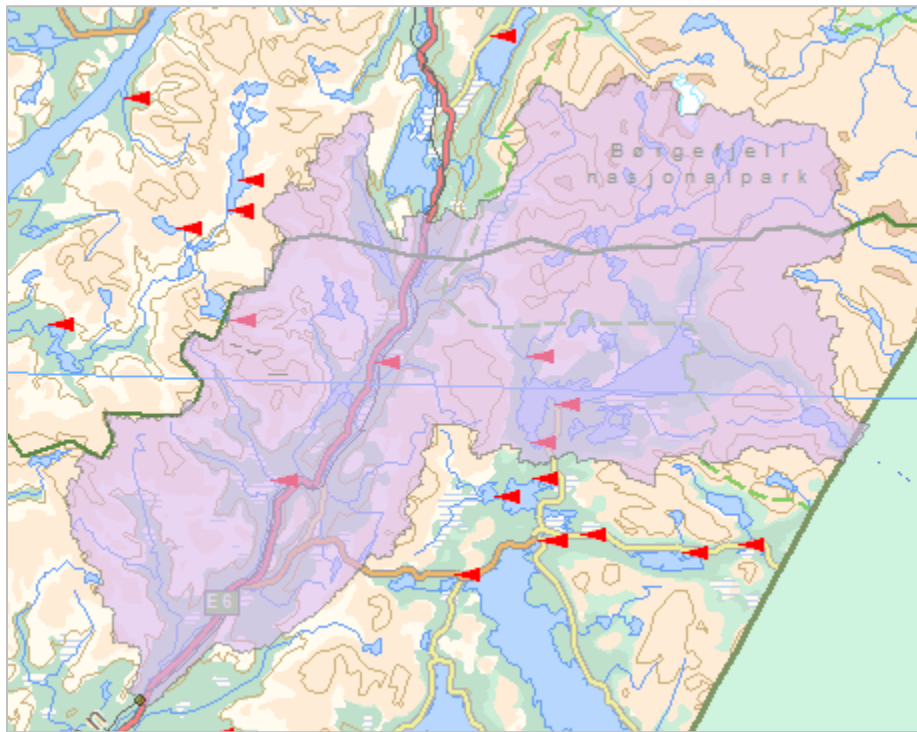
Figur 5.16: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Sandvasselva og nordover



### 5.2.10 Storåselva

Storåselva er omtrentlig den øvre halvdel av Navlusfoss-feltet og vurderingene som er gjort for valg av skaleringsfelt for dette feltet deles dermed i stor grad med de som er gjort for Navlusfoss. Emrethølen vurderes også for Storåselva som et godt egnet skaleringsfelt, selv om arealforholdet ikke er like bra i dette tilfellet, da Storåselva er om lag halvparten av Navlusfoss' størrelse.

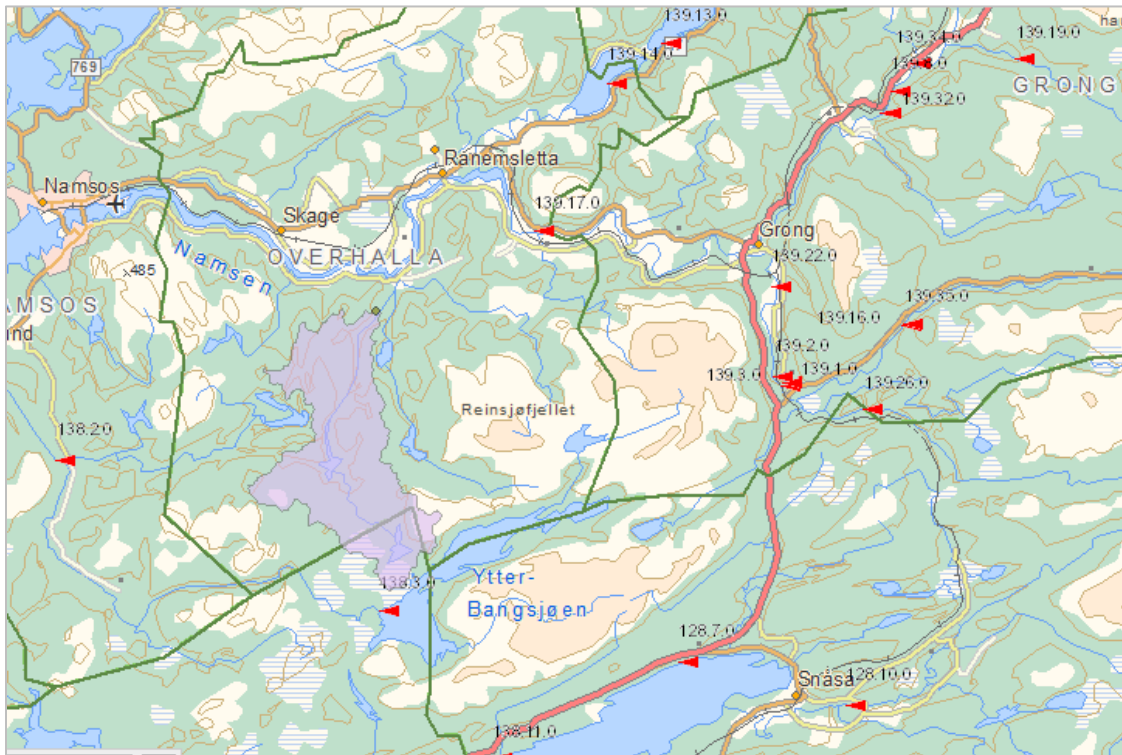
### 5.2.11 Trongfossen



Figur 5.17: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Trongfossen

Trongfossen er det største feltet i studiet, men er regulert slik at 696 km<sup>2</sup> av de 1774 km<sup>2</sup> overføres ut fra feltet. Samtidig er det krav til slipp av minstevannføring fra Namsvatn. Det gjør det krevende å behandle Trongfossen i dette studiet. Basert på tidlige valg om at ingen regulerte serier skulle inkluderes i studiet kan ikke 139.15 Bjørnstad brukes, fordi den ikke inngår i kartkorrelasjonsmetoden. Derfor velges Moen, som er et delfelt til Trongfossen som ligger relativt sentralt i restfeltet og dermed vil dele felles avrenningsregime med Trongfossen. Det vil likevel være forventet dårlige resultater her.

## 5.2.12 Vesteråa



Figur 5.18: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Vesteråa

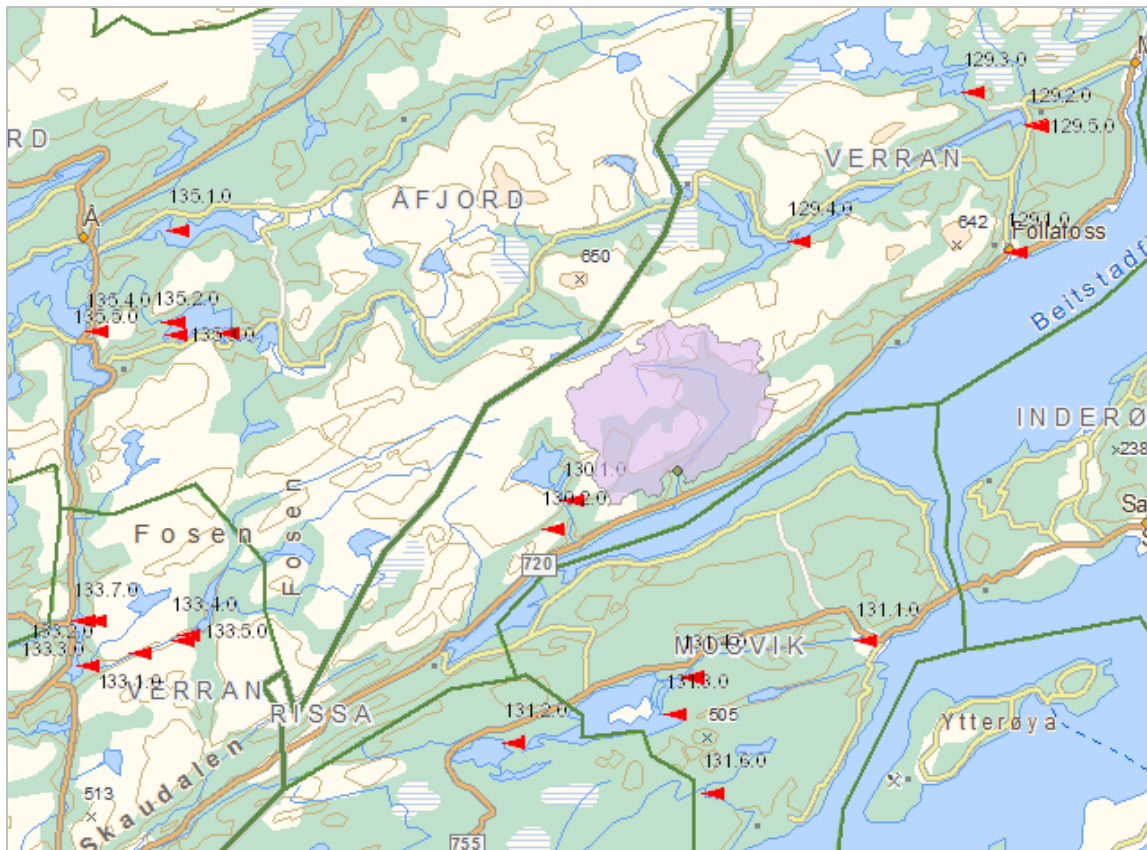
For Vesteråa, som for mange av de andre feltene, er det en del eldre og regulerte serier blant de som er nærmest plassert. De aktuelle stasjonene for skalering til Vesteråa er plassert fra 40 til 74 km unna, noe som er mest av de umålte feltene i dette studiet. 138.1 Øyungen, 139.26 Embrethølen, 139.25 Trangen og 139.13 Grongstadvatn er alle plassert på forskjellige sider av Vesteråa, og er aktuelle som skaleringsstasjoner. Arealene varierer i stor grad, men alle er mye større enn Vesteråa. Øyungen er minst, nesten halvparten av arealet til det nest minste feltet; Grongstadvatn. På grunnlag av dette, og til en viss grad distanse, velges Øyungen som skaleringsfelt for Vesteråa.

Vesteråa skiller seg ut blant studiefeltene fordi det ligger i et område som har dårligere dekning av gode vannføringsdata for skalering. Avstanden til andre felt er derfor større og det kan være rom for større forskjeller i hydrologisk responsmønstre enn for andre felt.

### 5.2.13 Vølsetelva

Vølsetelva ligger like sørvest for Sandvasselva og har derfor 135.1 Stordalsvatn og 133.3 Krinsvatn som aktuelle referansestasjoner. Øyungen, som ble valgt for Sandvasselva, blir vurdert som for langt unna for Vølsetelva. For Vølsetelva er det registrert vannføringsdata tilstrekkelig langt tilbake i tid, slik at det fins overlapping med serien til Stordalsvatn og derfor kan den også vurderes.

Nok en gang er det to jevngode alternativ som skaleringsfelt og det er subjektive vurderinger som gjør at Krinsvatn blir valgt. Krinsvatn er 10 % mindre enn Stordalsvatn og dermed nærmere arealet til Vølsetelva. Fra kartet ser man at feltet også grenser til Krinsvatn-feltet og er plassert på den samme høydeformasjonen i terrenget. Det er mindre viktige parametere som gjør at Krinsvatn blir valgt som skaleringsfelt for Vølsetelva.



Figur 5.19: Kartutsnitt fra NVE Atlas for Vølsetelva



# Kapittel 6

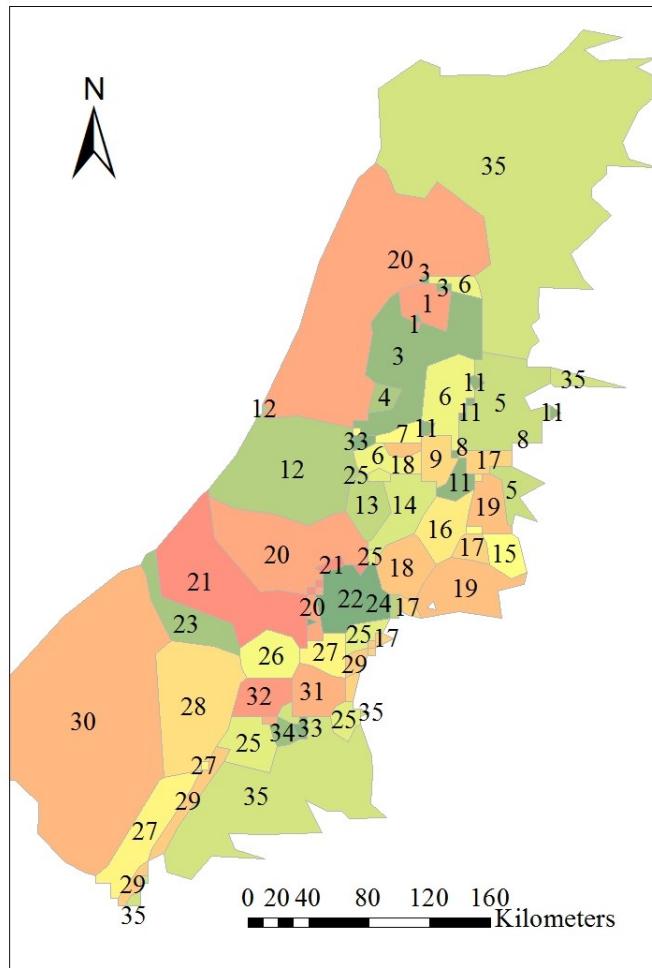
## Resultater

For dette studiet fins mye data som er prosessert og potensielt mye som kan presenteres som resultater. I henhold til det definerte formålet for studiet vil det først i dette kapitlet rettes hovedfokus på sammenligningen mellom tradisjonell skalering og kartkorrelasjonsmetoden for estimering av NTE-feltene. Deretter vil noen av delresultatene ved kartkorrelasjonsmetoden bli presentert for en videre drøfting av metoden.

Som det tidligere er poengtert bygger kartkorrelasjonsmetoden på at referansefeltet med høyest korrelasjon vil gi den beste skaleringen. Derfor vil en sentral del av resultatene være nært knyttet opp mot korrelasjonene mellom NTE-feltene og referansefeltene slik den ble presentert i kapittel 3.3.2.

### 6.1 Metodenes valg av skaleringsfelt

Basert på alle feltenes separate estimater fra ko-kriging, som er vedlagt med feltvise prediksjonskart i vedlegg C.2, blir alle punkter i studieområdet gitt ett felt med høyest predikert korrelasjon. Dette bestemmer valget av optimal skaleringsstasjon fra kartkorrelasjonsmetoden for hele studieområdet. Kartet i Figur 6.1 oppsummerer resultatene fra den multivariable kartkorrelasjonsmetoden med beste skaleringsfelt for alle punkter i studieområdet. For området som gir gyldige resultater fra dette studiet viser kartet at det er hyppig oppdelt og at nesten alle referansefeltene er representert. Kartet er oppfattet som det endelige resultatet for kartkorrelasjonsmetoden i Nord-Trøndelag og brukes for valg av skaleringsfelt.



Figur 6.1: Oversikt over beste skaleringsfelt fra kartkorrelasjonsmetoden for hele studieområdet

Tabell 6-1 viser de ulike metodenes valg av skaleringsfelt for alle de 13 NTE-feltene. For feltene hvor korrelasjonsdata er funnet, er det vist Kendalls tau mellom NTE-feltet og skaleringsfeltet som er valgt, sammen med hvilken rangering dette tilsvarer av tilgjengelige felt med korrelasjon. I kolonnen lengst til høyre er det oppgitt hvilket referansefelt som i korrelasjonsanalysen viser seg å gi høyest korrelasjon og dermed antatt best for skalering. Kriging med kun vannføringskorrelasjon som variabel er også inkludert for sammenligning(OK). Feltene som har oppgitt to felt for ko-kriging(OcK), har ikke overlappende dataserie med førstnevnte og må derfor bruke sistnevnte til skalering.

Tabell 6-1: Valg av skaleringsfelt

NTE-felt	Tradisjonell skalering	OK	OcK	Beste felt
Vølsetelva	Krinsvatn (1) 0,687	Stordalsvatn (3) 0,679	Stordalsvatn (3) 0,679	Krinsvatn (1) 0,687
Vesteråa	Øyungen (1) 0,840	Øyungen (1) 0,840	Veravatn (16) 0,420	Øyungen (1) 0,840
<b>Fiskløysa VM</b>	<b>Murusjø</b>	<b>Murusjø</b>	<b>Murusjø</b>	
<b>Trongfossen</b>	<b>Moen</b> <b>(2) 0,773</b>	<b>Moen</b> <b>(2) 0,773</b>	<b>Kapskarmo/Moen</b> <b>(2) 0,773</b>	<b>Første Aunvatn</b> <b>(1) 0,801</b>
<b>Storåselva</b>	<b>Embrethølen</b> <b>(4) 0,771</b>	<b>Embrethølen</b> <b>(4) 0,771</b>	<b>Embrethølen</b> <b>(4) 0,771</b>	<b>Grunnfoss</b> <b>(1) 0,862</b>
Sandvasselva	Øyungen (1) 0,798	Øyungen (1) 0,798	Stordalsvatn/Støafoss (3) 0,753	Øyungen (1) 0,798
Saksvatn	Moen	Moen	Landbru limn	
<b>Navlusfoss</b>	<b>Embrethølen</b> <b>(3) 0,778</b>	<b>Embrethølen</b> <b>(3) 0,778</b>	<b>Embrethølen</b> <b>(3) 0,778</b>	<b>Grunnfoss</b> <b>(1) 0,820</b>
Kjerråa	Moen (7) 0,698	Moen (7) 0,698	Veravatn (10) 0,637	Landbru limn. (1) 0,802
<b>Hellifoss</b>	<b>Første Aunvatn</b> <b>(2) 0,700</b>	<b>Første Aunvatn</b> <b>(2) 0,700</b>	<b>Første Aunvatn</b> <b>(2) 0,700</b>	<b>Embrethølen</b> <b>(1) 0,707</b>
Flåttadal	Moen	Moen	Mannseter/Murusjø	
Ekorndalselva	Grongstadvatn (6) 0,601	Salsvatn (17) 0,482	Innsvatn/Veravatn (18) 0,466	Krinsvatn (1) 0,752
<b>Bøla</b>	<b>Støafoss</b> <b>(1) 0,777</b>	<b>Støafoss</b> <b>(1) 0,777</b>	<b>Støafoss</b> <b>(1) 0,777</b>	<b>Støafoss</b> <b>(1) 0,777</b>

Tabellen viser med uthevet skrift hvilke felt som får like skaleringsfelt ved tradisjonell og kartkorrelasjonsmetode. Det er seks av de 13 NTE-feltene som får like skaleringsfelt ved begge metodene. Av de seks fins målt korrelasjon for fem, og den viser at det kun for Bøla velges optimalt felt ved begge metodene. For de andre feltene som får like skaleringsfelt og kan måles opp mot målt korrelasjon med referansefeltene, nemlig Trongfossen, Storåselva, Navlusfoss og Hellifoss, velger begge metodene henholdsvis andre, fjerde, tredje og tredje beste felt. Altså er det felles for alle fire feltene at det antatt beste feltet for skalering er utelatt ved begge metodene.

For de syv feltene hvor det velges ulike felt for skalering er det relevant å se hvilken av metodene som velger feltene som gir best korrelasjon. Av disse syv feltene fins

korrelasjonsdata for fem. For Vølsetelva, Vesteråa og Sandvasselva velges beste mulige felt ved tradisjonell metode. Kartkorrelasjonsmetoden gir derimot henholdsvis tredje, sekstende og tredje beste felt for skalering. For Kjerråa og Ekorndalselva velger ingen av metodene optimalt felt, i likhet med Trongfossen, Storåselva, Navlusfoss og Hellifoss. For Kjerråa, som er studiets minste felt, ble Moen brukt ved tradisjonell metode og Veravatn gjennom kartkorrelasjonsmetoden. De er henholdsvis syvende og tiende beste feltet tilgjengelig. Med Kjerråa har feltet Landbru limn. best korrelasjon. For Ekorndalselva er det optimale feltet for skalering Krinsvatn. Feltene som er brukt fra den tradisjonelle og kartkorrelasjonsmetoden er Grongstadvatn og Veravatn. De har henholdsvis sjette og attende beste korrelasjon med Ekorndalselva. Det gjelder altså for samtlige av de fem feltene, hvor det foreligger korrelasjonsdata og det velges ulike skaleringsfelt, at kartkorrelasjonsmetoden velger felt med svakere korrelasjon enn den tradisjonelle metoden.

Ordinær kriging med en variabel utgjør forskjell i valg av skaleringsfelt for kun to av feltene i forhold til tradisjonell metode. For Vølsetelva velges Stordalsvatn, som det også gjøres for ko-kriging. Som poengtert er det tredje beste korrelerte feltet, mot tradisjonell metodes Krinsvatn som er det beste. For Ekorndalselva velger envariabel kriging ulikt fra begge de to andre metodene. Her velges Salsvatn for OK som viser 17. beste korrelasjon, mot Grongstadvatn (6.) for tradisjonell metode og Veravatn (18.) for ko-kriging.

Av de ni NTE-feltene som har korrelasjonsverdier som kan brukes i resultatvurderingen, velges det antatt optimale skaleringsfeltet for fire av dem. Sammenlignet med vurderingene som er gjort i kapittel 5.2 for valg av skaleringsfelt ved tradisjonell metode, er det valgt optimalt for de feltene hvor det var størst tvil. Det var feltene Vølsetelva, Vesteråa og Sandvasselva det ble mest drøftet for og for alle dem er det optimale valgt. Mer overraskende er det at Embrethølen, som ble vurdert som godt egnet både for Navlusfoss så vel som Storåselva, viser markant lavere korrelasjon med disse enn Grunnfoss, som ligger lengre unna og i tillegg er studiets største referansefelt. For feltene Ekorndalselva og Kjerråa er det størst avvik mellom optimalt felt og det som er valgt ved tradisjonell metode, og således størst potensiale for forbedring ved kartkorrelasjonsmetoden. Korrelasjonsresultatene for de valgte referansefeltene gjennom den tradisjonelle metoden, viser at det er potensiale for forbedret valg av skaleringsfelt, spesielt for feltene Navlusfoss, Storåselva, Ekorndalselva og Kjerråa.



## 6.2 Feltvis sammenligning av skaleringsresultater

For å undersøke feltenes estimeringsevne, og for å se i hvor stor grad denne stemmer overens med korrelasjonsresultatene, vil feltene som er valgt til skalering ved de to metodene brukes for estimering av NTE-feltene ved den mest brukte metoden i Norge, skalering med areal- og avrenningsforhold. De skalerte seriene vil bli gjennomgått felt for felt og sammenlignes med målte data. Som følger av manglende data er ikke Fiskløysa og Flåttadal skalert for. For Trongfossen og Saksvatn er det vurdert som uriktig å inkludere resultater av skaleringsserier av tidligere forklarte årsaker.

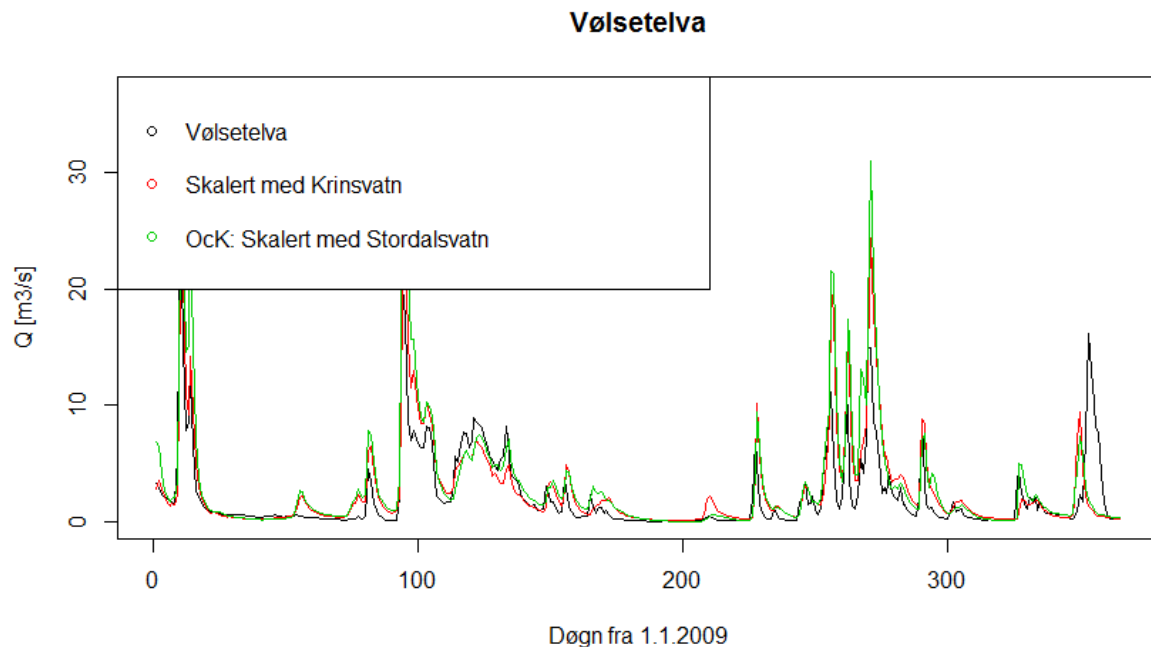
For feltene som har endt opp med likt valg av skaleringsfelt i begge metodene vises det en skalert serie som sammenlignes med de målte vannføringsdata og en skalert serie fra det antatt beste feltet for skalering, utfra korrelasjonsresultatene. For de andre feltene er to skalerte serier i tillegg til målte data og med hensyn på hydrogrammenes lesbarhet, er beste feltet kun inkludert i helsides plott i vedlegg B. Alle seriene framstilles først i et hydrogram med tidsserier for medianåret av de tilgjengelige data, deretter i form av en varighetskurve. For varighetskurven er data fra hele måleperioden for studiefeltet inkludert. Enkelte av seriene har korte måleserier som gjør at varighetskurven innehar mye usikkerhet, spesielt for ekstreme  $r$ .

For alle feltene oppsummeres verdiene, som er inkludert som kriterier i dette studiet for vurdering av resultatene, i en oppsummeringstabell. Størrelsene i denne tabellen er følgende.

- MAE(Mean Absolute Error): Denne verdien angir gjennomsnittlig absoluttverdi av feilen mellom estimert og målt vannføring og bør sees i sammenheng med  $Q_{\text{middel}}$  for hvert felt.
- NSE(Nash-Sutcliffe Efficiency): Nash Sutcliffe-kriteriet gir, som beskrevet, en god indikasjon på tilpasning til vannføringsserie. Kan maksimalt ha verdi lik 1.
- 5-persentilen, og en verdi for typisk slukeevne, som er satt til  $2 * Q_{\text{middel}}$ . For slukeevnen, altså  $2 * Q_{\text{middel}}$  for hver av seriene, er det også funnet hvor ofte denne i realiteten ville blitt overskredet med grunnlag i måleserien. Altså målt persentil-verdi for estimert slukeevne. I tillegg er også estimert middelvannføring oppgitt for sammenligning for øvrig.

## 6.2.1 Vølsetelva

For Vølsetelva ble det diskutert mellom Krinsvatn og Stordalsvatn i den tradisjonelle metoden for valg av skaleringsfelt, hvor Krinsvatn ble valgt, mens kartkorrelasjonsmetoden gir Stordalsvatn. Korrelasjonsverdiene viser liten differanse mellom stasjonene, med Kendalls tau lik henholdsvis 0,687 og 0,679. Fra tidsserien i Figur 6.2 ser man at seriene er under likt avrenningsregime med tørre perioder midtvinters og midtsommers og flomverdier vår og høst. For snøsmeltingsperioden om våren kan det sees effektene av større skaleringsfelt med lengre haler på flomhendelser, men begge feltene treffer i tiden med smeltingen. For høstflommene vises hvordan feltene klarer å representere nedbørshendelser. Det er vanskelig å få godt fram i figuren i teksten, men for alle de tre markante, største nedbørsflommene gir skaleringsfeltene langt større verdier enn den målte.

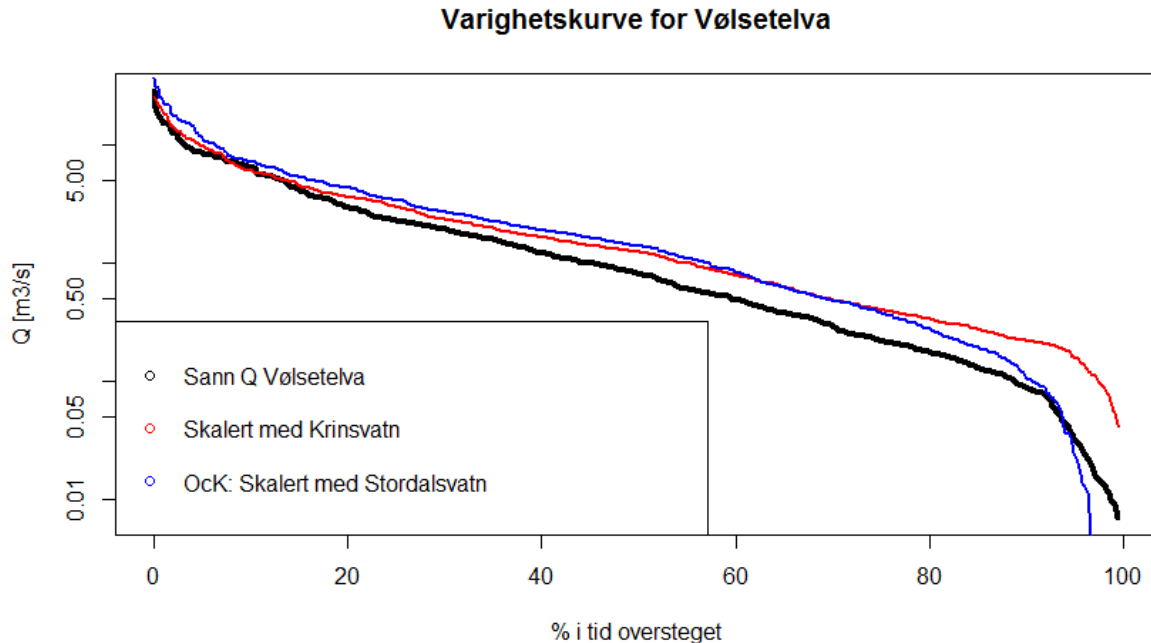


Figur 6.2: Hydrogram for Vølsetelva med skalerte serier

For estimering av kraftproduksjon er det viktigere med gode skalerte verdier for området mellom slukeevne, i denne oppgaven satt til  $2 \cdot Q_{\text{middel}}$ , og minste driftsvannføring. Minste driftsvannføring er typisk i området rundt 20 % av  $Q_{\text{middel}}$ . Av varighetskurven i Figur 6.3, og til en viss grad også av tidsseriene, kan man se at begge feltene skalerer til for høye verdier for dette området.

For lavvannføringer ligger Krinsvatn for høyt, noe som også er typisk for større felt. Forskjellen ser stor ut i varighetskurven, men det gjøres oppmerksom på den logaritmiske

y-aksen, som forklarer at forskjellen er mindre i absolutt størrelse enn for maksimalverdiene. For 5-persentilen skiller det likevel hele  $0,125 \text{ m}^3/\text{s}$  fra skalert verdi av Krinsvatn til den målte 5-persentilen. For Stordalsvatn er det enkelte verdier som er veldig nært 0 og denne kurven får dermed en bratt siste del og estimerer en riktigere 5-persentil enn Krinsvatn.



Figur 6.3: Varighetskurver for Vølsetelva og skalerte serier

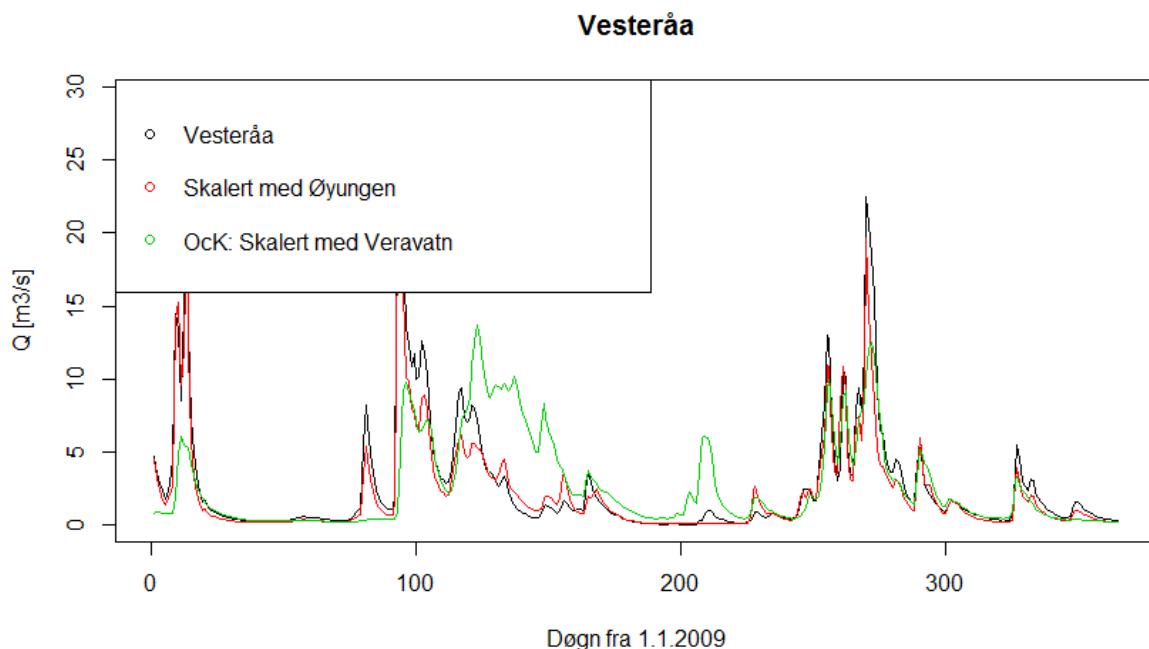
De statistiske kriteriene fra tidsseriens statistiske «goodness of fit», som kan sees i tabell Tabell 6-2, viser begge to at det er bedre å skalere mot Krinsvatn enn Stordalsvatn for Vølsetelva. Gjennomgående for Vølsetelva, er at de skalerte seriene estimerer for høye verdier. Slukeevnen ved de to estimerte seriene er i realiteten overskredet 13,4 % og 10,6 % av tiden, mens målt  $2*Q_{\text{middel}}$  er overskredet i 15,0 % av tiden.

Tabell 6-2: Skaleringsresultater for Vølsetelva

Vølsetelva	Målt verdi	Skalering med Krinsvatn (1)	Ock: Skalert med Stordalsvatn (3)
MAE [m <sup>3</sup> /s]		1,12	1,41
NS på tidsserie		0,581	0,291
5-persentil	0,033	0,158	0,025
Q <sub>middel</sub>	2,07	2,44	2,88
$2*Q_{\text{middel}}$	4,14	4,9	5,84
Tilsv. persentil	14,96 %	13,4 %	10,61 %

## 6.2.2 Vesteråa

Vesteråa var feltet med lengst avstand til aktuelle referansefelt, hvor Øyungen ble valgt som felt for tradisjonell metode, mens kartkorrelasjonsmetoden gir Veravatn. Resultatene fra kapittel 6.1 viser at dette er feltet hvor differansen i korrelasjon fra de valgte feltene er størst. Øyungen er det foretrukne skaleringsfeltet med tau lik 0,840, som er høyest verdi av samtlige studiefelt. Veravatn ligger på svenskegrensen, høyt i Verdalsvassdraget, 67 km unna Vesteråa og har en korrelasjonsverdi på 0,420, som er kun 16. beste av referansefeltene. For Vesteråa fins data for tre år, fra 2007 til 2009, hvor 2009 er medianåret av disse. Tidsserien herfra er vist i Figur 6.4. Den viser også tre serier med flomverdier på våren, under snøsmelting, og for nedbørshendelser på høsten. Det er dog tydelig at Veravatn har en senere snøsmelt enn de to andre, og som skaleringsfelt for Vesteråa klarer den heller ikke gjengi de to markante avrenningshendelsene på vinteren. Snøsmeltingen er av mye større omfang for Veravatn-serien og inntreffer forsinket i forhold til de to andre. Øyungen skalerer litt små flomverdier i snøsmeltingsperioden, men estimerer ellers presist. For høsthendelsene treffer begge skaleringsseriene langt bedre, men Veravatn gir lavere maksverdier på flomtoppene enn både måleserien og Øyungens skalerte verdier.



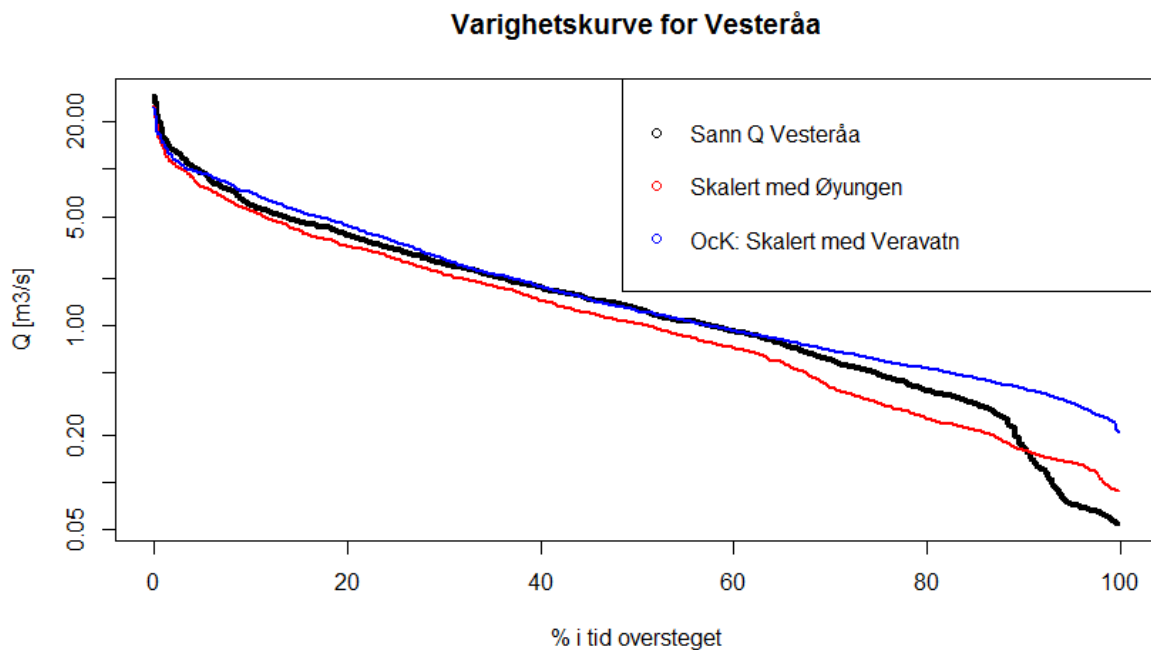
Figur 6.4: Hydrogram for Vesteråas medianår med skalerte serier

Varighetskurven til Vesteråa, i Figur 6.5, viser tegn til feile verdier. Det ser ut til å være feil ved lavvannsverdier, noe som gjør det vanskelig å finne reell 5-persentil. Det vil også

gi ukorrekte verdier for middelvannføring, men disse tas med som veiledende verdi da feilen vil være relativt liten.

For produksjonsområdet på varighetskurven ligger den skalerte serien fra Veravatn veldig likt med den målte. Øyungen derimot gir jevnt lavere vannføringer. Dette er informasjon som er vanskelig å knytte opp til tidsseriene på grunn av forskjellene i tid disse vannføringene inntreffer, men til tross for et dårlig tilpasset hydrogram fra Veravatn ser størrelsene ut til å stemme bedre.

Lavvannsverdier lar seg vanskelig vurderes når de målte verdiene ikke kan valideres. Det som er verdt å merke seg, er igjen den store prosentvise differansen mellom de to estimerte 5-persentilene, på henholdsvis 133 l/s og 320 l/s. For bestemmelse av minstevannføring ved en eventuell utbygging av dette vassdraget gir disse to seriene veldig ulike estimater.



Figur 6.5: Varighetskurver for Vesteråa og skalerte serier

MAE og NSE i Tabell 6-3 gir bekreftelse på den visuelle vurderingen av tidsseriene. Den gjennomsnittlige feilen av estimatene er tre ganger større for Veravatn enn for Øyungen og Nash Sutcliffe-kriteriet gis negativ verdi for ko-krigingsserien. Den skalerte serien fra Øyungen gir veldig gode statistiske verdier for tidsserien, til tross for at Vesteråa er feltet med lengst avstand til skaleringsfeltet ved tradisjonell metode. Videre er tallene tatt ut fra varighetskurvene også bekreftende, i at Veravatn egner seg bedre for estimering av slukeevne.

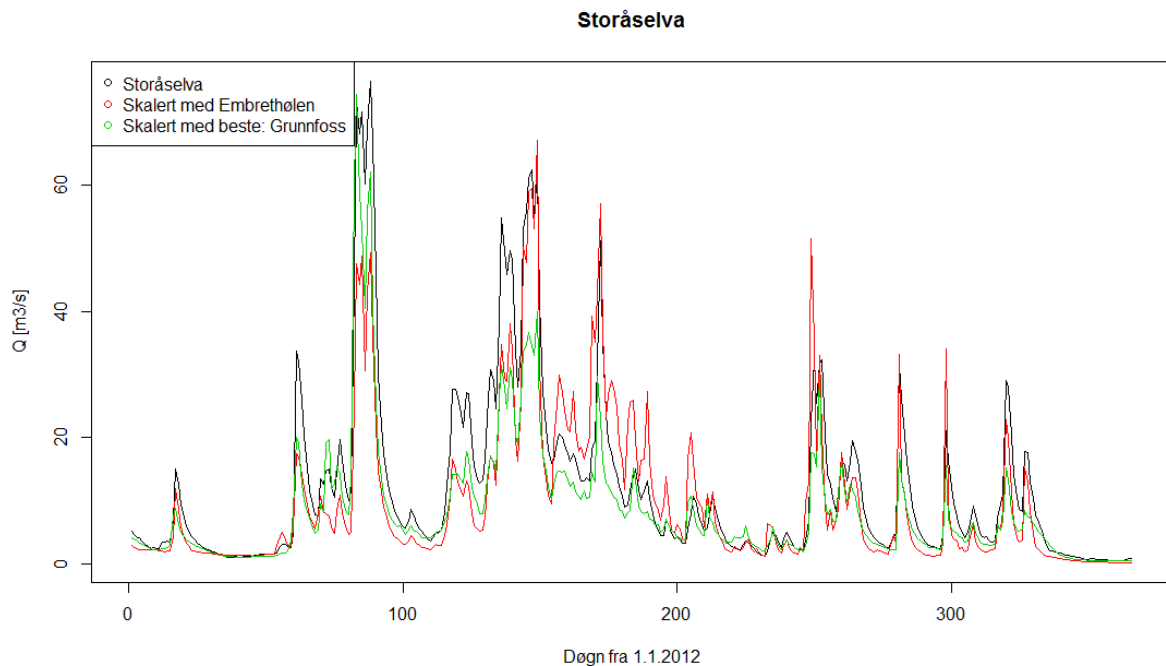
Tabell 6-3: Skaleringsresultater for Vesteråa

Vesteråa	Målt verdi	Skalering med Øyungen (1)	OcK: Skalert med Veravatn (16)
MAE [m <sup>3</sup> /s]		0,625	1,849
NSE på tidsserie		0,893	-0,088
5-persentil	NA	0,133	0,320
Qmiddel	2,505*	2,097	2,621
2*Qmiddel	5,02*	4,2	5,26
Tilsv. persentil	13.31 %*	18.4 %*	12.4 %*

\*) Ikke tillagt mye vekt på grunn av målefeilene ved lave vannføringer

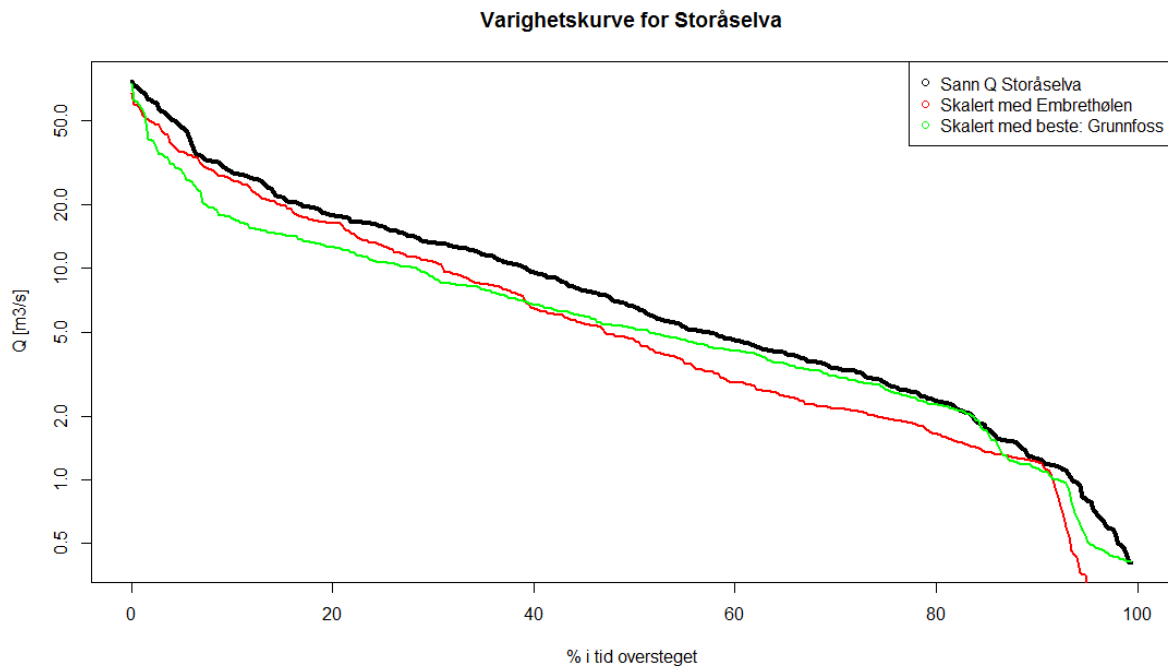
### 6.2.3 Storåselva

Storåselva er det første feltet hvor metodene gir samme skaleringsfelt. Vurderingene under tradisjonell metode tilsa også at tvilen var mindre her enn for de to foregående feltene. Embrethølen ble vurdert som et egnet skaleringsfelt. Likevel viser korrelasjonsdata at Embrethølen er det fjerde beste skaleringsfeltet med korrelasjon på 0,771. Det beste er Grunnfoss med 0,862. Storåselva har kun vannføringsdata for 2012 og tidsserien over året er vist i Figur 6.6. Her er den skalerte serien representativ for de store hendelsene, både i tid og størrelse. For årets første halvdel er det gjennomgående litt lavere verdier tidlig i perioden, mens det overestimeres mot slutten av snøsmeltingen. For sommerens lave vannføringer stemmer skaleringen godt overens med måleseriens verdier og for høstens topper gjengis de relativt bra. Dog er det verdt å merke den gjennomgående brattere kurven for den skalerte serien fra Embrethølen etter høye verdier, mens den målte har en slakere avtagning. Det er motsatt av den typiske effekten ved skalering og arealforskjeller, siden Storåselva er om lag halvparten av Embrethølen størrelse, men kan fortelle noe om andre feltegenskaper som er viktige for avrenningsmønsteret. Det best korrelerte feltet, Grunnfoss, er også inkludert i grafen og viser riktigere avtagning etter topper. Grunnfoss er studiets største referansefelt, men ser ut til å stemme godt overens. Grunnfoss-serien treffer jevnt bedre for snøsmeltingen selv om den estimerer for lavt. For høsthendelsene er det svært varierende hvordan begge seriene estimerer. Grunnfoss estimerer flomtoppene for lavt, mens Embrethølen overestimerer to av hendelsene. Begge seriene er mer presise i høstperioden enn under snøsmeltingen.



Figur 6.6: Hydrogram for Storåselva med skalerte serier

Det er kun ett års data tilgjengelig for Storåselva og varighetskurve må sees på med dette i minnet og spesielt ekstremverdiene må ikke tillegges for mye vekt. Den skal likevel fungere tilfredsstillende som indikator på feltets langtidsmålte varighetskurve (Castellarin, et al., 2007). Man kan se at det jevnt underestimeres litt gjennom skaleringen for alle verdier. Spesielt blir skilnadene store for de aller laveste vannføringene, men også for middelvannføringen som er  $12,1 \text{ m}^3/\text{s}$  reelt, men estimeres til  $9,7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Det er ikke unaturlig at man med ett års verdier som grunnlag for en varighetskurve risikerer å ikke få korrekte ekstremer. Det beste feltet, Grunnfoss, treffer bedre på den laveste halvdel av vannføringer, hvor den er mer presis enn Embrethølen er for den høyeste halvdel.



Figur 6.7: Varighetskurver for Storåselva og skalerte serier

At serien blir godt gjenspeilet i tid ved Embrethølen vises med en god Nash Sutcliffe-koeffisient på 0,745. Den antatt beste er kun 0,03 høyere. Det skiller gjennomsnittlig 4,7 m<sup>3</sup>/s mellom målt og skalert verdi, noe som utgjør 39 % av middelvannføringen. For 5-persentilen, middelvannføringen og slukeevnen blir forskjellene større og for Storåselva ville skalering av Embrethølen for 2012 gitt en for liten installasjon. En forskjell på 4,6 m<sup>3</sup>/s og 4,4 % av tiden gir potensielt store konsekvenser. Legg merke til at det antatt beste feltet estimerer dårligere middelvannføring, og dobbel middelvannføring slik det også gikk frem av varighetskurvene.

Tabell 6-4: Skaleringresultater for Storåselva

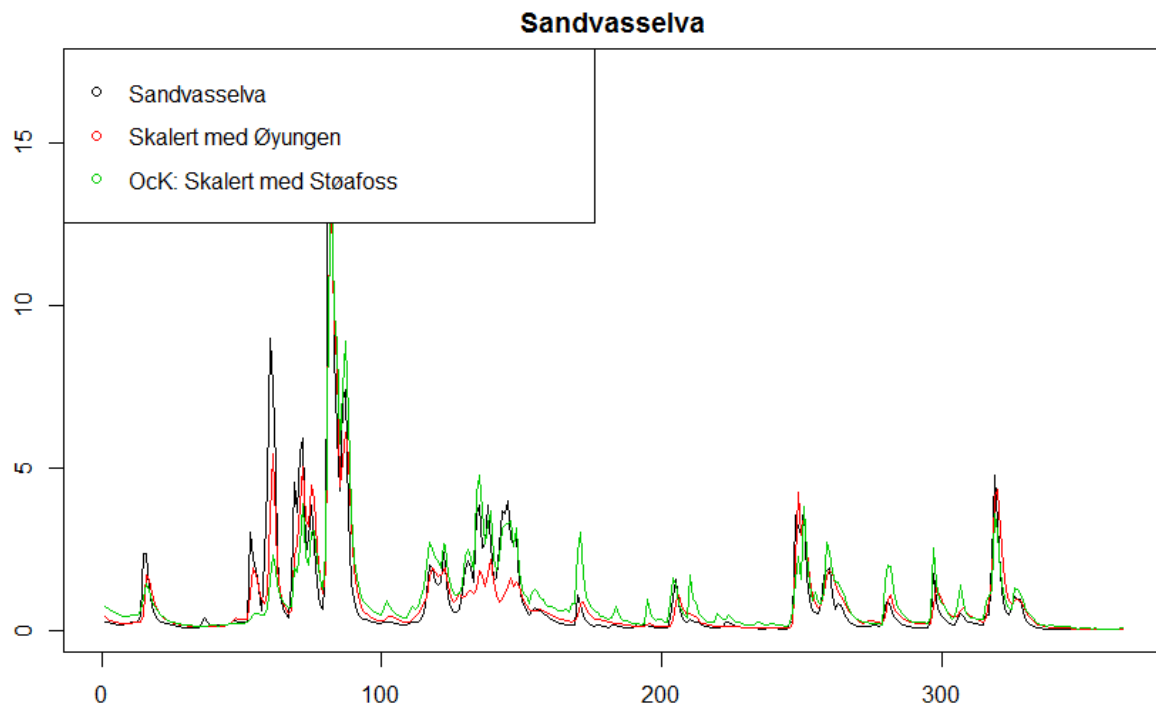
Storåselva	Målt verdi	Skalering med Embrethølen (4)	For sammenligning: Skalert med Grunnfoss (1)
MAE [m <sup>3</sup> /s]		4,68	3,98
NS på tidsserie		0,745	0,775
5-persentil	0,791	0,286	0,511
Qmiddel	12,06	9,70	8,49
2*Qmiddel	23,9	19,3	17,4
Tilsv. persentil	13,6 %	18 %	21,5 %



## 6.2.4 Sandvasselva

For Sandvasselva ble Øyungen valgt som referansefelt, så vidt foretrukket foran Krinsvatn. I kartkorrelasjonsmetoden ble Støfoss det utvalgte feltet etter at Stordalsvatn ikke hadde overlappende vannføringsverdier. De er henholdsvis første- og tredjevalget med en differanse mellom korrelasjonsverdiene på 0,045. Feltet har data tilgjengelig fra 23. juni 2011 og ut 2012, og tidsserien som vises i Figur 6.8 er dermed for 2012.

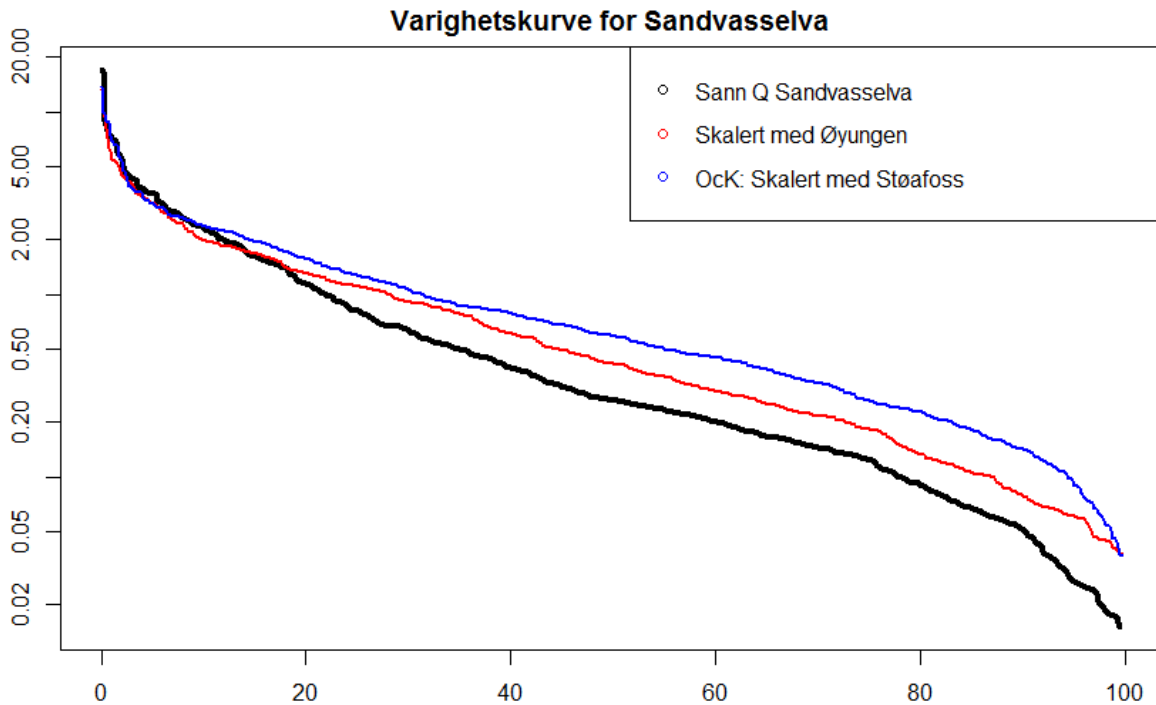
Den viser en litt annerledes årlig avrenning enn for de feltene som tidligere er gjennomgått. De tre største vannføringshendelsene er alle innen utgangen av mars, mens det for resten av perioden er mindre hendelser og lengre perioder med lave vannføringer. De skalerte seriene gjengir også det samme mønsteret, men for de tre hendelsene tidlig vår klarer ikke skaleringsseriene estimere høye nok maksimalverdier, spesielt for den første delen. For de mindre hendelsene utover året er det vanskelig å generalisere de skalerte seriene, annet enn at den Støfoss-skalerte serien har en tendens til å overestimere jevnt. Samtidig ser den ut til å stemme langt bedre for hendelsene på våren rundt dag 120. Sandvasselva har brattere kurver enn begge skaleringsseriene og for lavvannsverdiene ser spesielt Støfoss-serien ut til å ligge for høyt.



Figur 6.8: Hydrogram for Sandvasselva med skalerte serier

Den visuelle vurderingen av tidsseriene ser ut til å få støtte i varighetskurvene, som også inkluderer halvåret forut for tidsserien som er vist her. For de aller høyeste vannføringene, over ca.  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , ser skaleringsseriene ut til å stemme bra, men utover i

driftsområdet blir forskjellene betydelige. Begge overestimerer betydelig, kartkorrelasjonsmetodens felt mer enn den tradisjonelle. Det blir tydelig for lavvannsverdien, som estimeres til det dobbelte og tredobbelte, henholdsvis med Øyungen og Støafoss. Interessant er det at selv om forskjellene ser store ut, også for den Øyungen-skalerte serien, gir den et veldig bra estimat på middelvannføring og dermed også slukeevne. Dette er på grunn av de litt lavere estimatene av de virkelige høye vannføringene.



Figur 6.9: Varighetskurver for Sandvasselva og skalerte serier

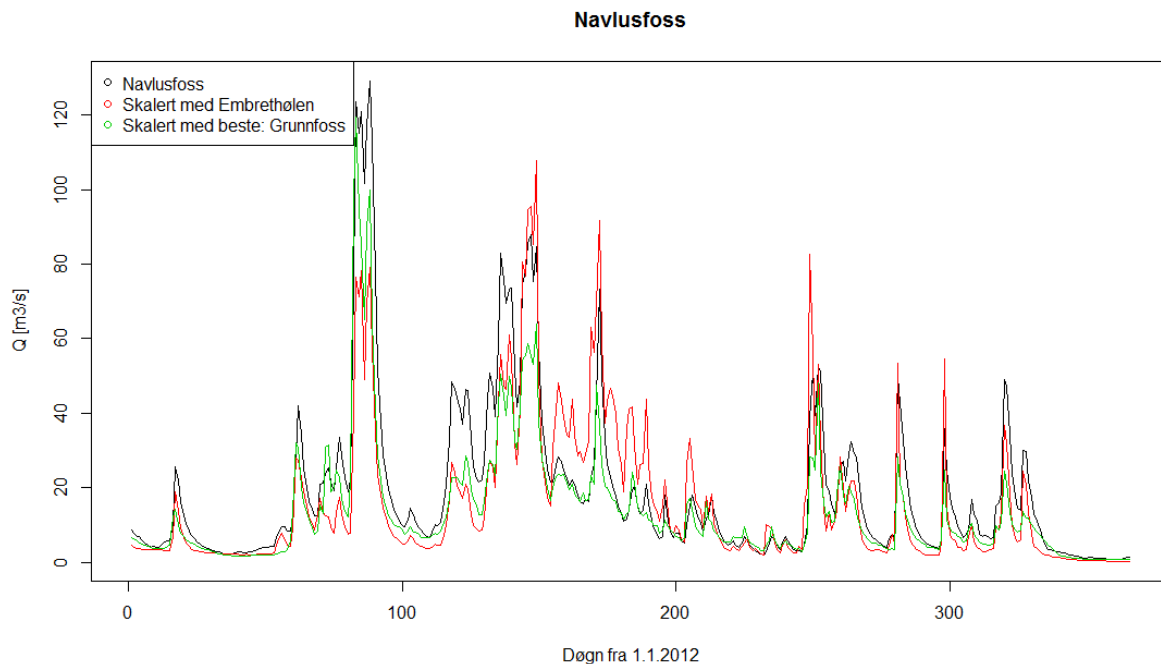
For Sandvasselva er det entydige resultater, med støtte i visuell og statistisk vurdering av tidsseriene og varighetskurvene, at Øyungen egner seg bedre til skaleringsfelt enn Støafoss.

Tabell 6-5: Skaleringsresultater for Sandvasselva

Sandvasselva	Målt verdi	Skalering med Øyungen (1)	Ock: Skalert med Støafoss (3)
MAE [ $m^3/s$ ]		0,374	0,475
NS på tidsserie		0,737	0,647
5-persentil	0,027	0,061	0,090
Qmiddel	0,847	0,886	1,045
2*Qmiddel	1,73	1,76	2,14
Tilsv. persentil	14,13 %	13,95 %	11,27 %

## 6.2.5 Navlusfoss

Som Storåselva, som er et delfelt til Navlusfoss, ble også Navlusfoss vurdert som et felt hvor Embrethølen ville gi presis estimering. Basert på areal, høyeste og laveste koter er Navlusfoss likere Embrethølen og derfor var det forventet bedre resultat her. For Navlusfoss har lengre dataserie enn Storåselva, fra 1. september 2009 til 31. desember 2012, og kan derfor vise til en sikrere varighetskurve. 2012 er funnet å være medianåret og blir vist i Figur 6.10. Igjen har Grunnfoss oppgitt høyest korrelasjon lik 0,820 mot Embrethølen 0,778. For sammenligning er det beste feltet inkludert i hydrogrammet.

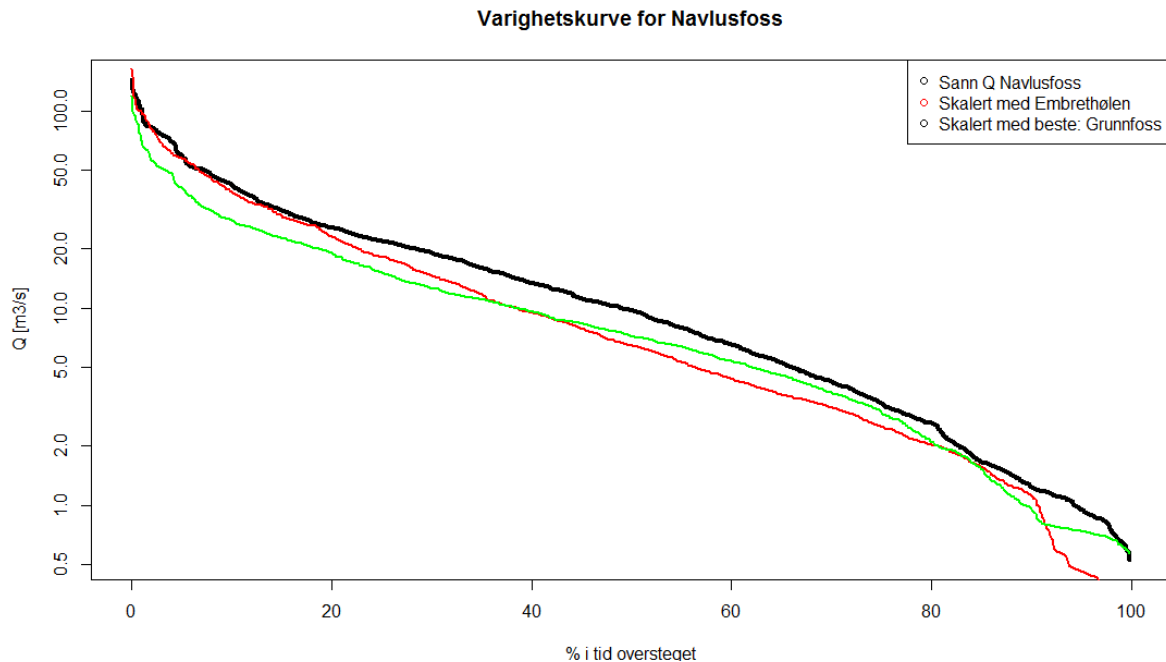


Figur 6.10: Hydrogram for Navlusfoss' medianår med skalerte serier

Som for Storåselva, ser det ut til at Embrethølen gir for lave verdier tidlig i snøsmelting og for høye verdier senere. Figuren her viser for samme år som Storåselva, men den totale serien, som kan sees i vedlegg B, viser den samme tendensen også for de to foregående årene. Den hurtige avtagningen ved Embrethølen som ble påpekt for Storåselva, sees også for høstperioden i denne serien. Generelt viser den antatt beste skalerte serien de samme egenskapene som for Storåselva, nemlig en større grad av overensstemmelse i snøsmelting og avtagning etter flomtoper.

Varighetskurven for den skalerte serien fra Embrethølen, som tilsvarer hele tidsperioden med ca. 1 200 døgnlige data, viser en god tilpasning for flomverdier og området ned til 20 % overskredet. Men for store deler av området for driftsvannføringer er det en stor skilnad. Spesielt med tanke på størrelsene av vannføringene i vassdraget, kan dette gi store forskjeller i videre beregninger for eksempel for kraftproduksjon.

For de lave vannføringerne viser Embrethølen- serien, noe som ligner feilmålte verdier. Det gjorde den også for Storåselva, men da kun med ett års data. Data skal være kontrollert av NVE, men kan tyde på lavvannsutfordringer for målestasjonen. Dette gjør at 5-persentilen blir estimert til under halvparten av reell verdi. Grunnfoss viser en bedre varighetskurve for de om lag 60 % laveste vannføringerne, mens den underestimerer for de største verdiene.



Figur 6.11: Varighetskurver for Navlusfoss og skalerte serier

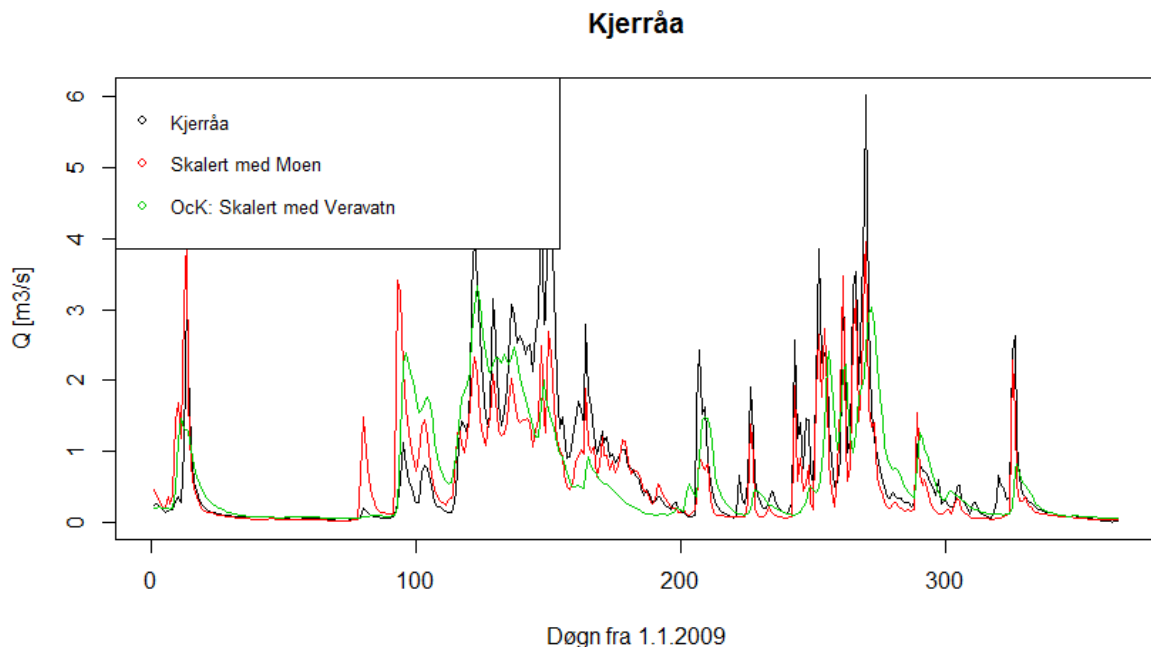
Tabell 6-6: Skaleringsresultater for Navlusfoss

<b>Navlusfoss</b>	<b>Målt verdi</b>	<b>Skalering med Embrethølen (3)</b>	<b>For sammenligning: Skalert med Grunnfoss (1)</b>
MAE [m <sup>3</sup> /s]		6,60	5,70
NS på tidsserie		0,4097	0,765
5-persentil	0,948	0,460	0,737
Qmiddel	16,86	14,68	12,05
2*Qmiddel	33,7	29,1	24,1
Tilsv. persentil	16,3 %	13,3 %	21,8 %

Embrethølen ble vurdert som et veldig godt egnet skaleringsfelt for Navlusfoss ved tradisjonell metode. De statistiske størrelsene fra tidsserien viser at det ikke, sammenlignet med de andre feltene, markerer seg positivt. En Nash Sutcliffe-koeffisient på 0,41 er nest dårligst ved tradisjonell skalering i dette studiet. Det best korrelerte referansefeltet forbedrer Nash Sutcliffe-skåren vesentlig. Dog er det mye lavere estimater av høye vannføringer, slik det også ble observert for Storåselva.

## 6.2.6 Kjerråa

Kjerråa er det minste feltet i studiet og således i utgangspunktet krevende å finne skaleringsfelt for. Ved tradisjonell metode ble Moen valgt, mens det gjennom kartkorrelasjonsmetoden også her ble Veravatn som gav høyest korrelasjonsprediksjon. Korrelasjonsdata viser at dette er henholdsvis syvende og tiende beste skaleringsfelt. Landbru limn. har høyest korrelasjon med 0,802. For hydrogrammet under er ikke det beste feltet inkludert med hensyn til lesbarhet, og det vises derfor til vedlegg B. For Kjerråa fins vel fire år med data fra 1. september 2008 til 2. oktober 2012, og således en relativt sikker varighetskurve. 2009 er medianåret for Kjerråa og vises i Figur 6.13.

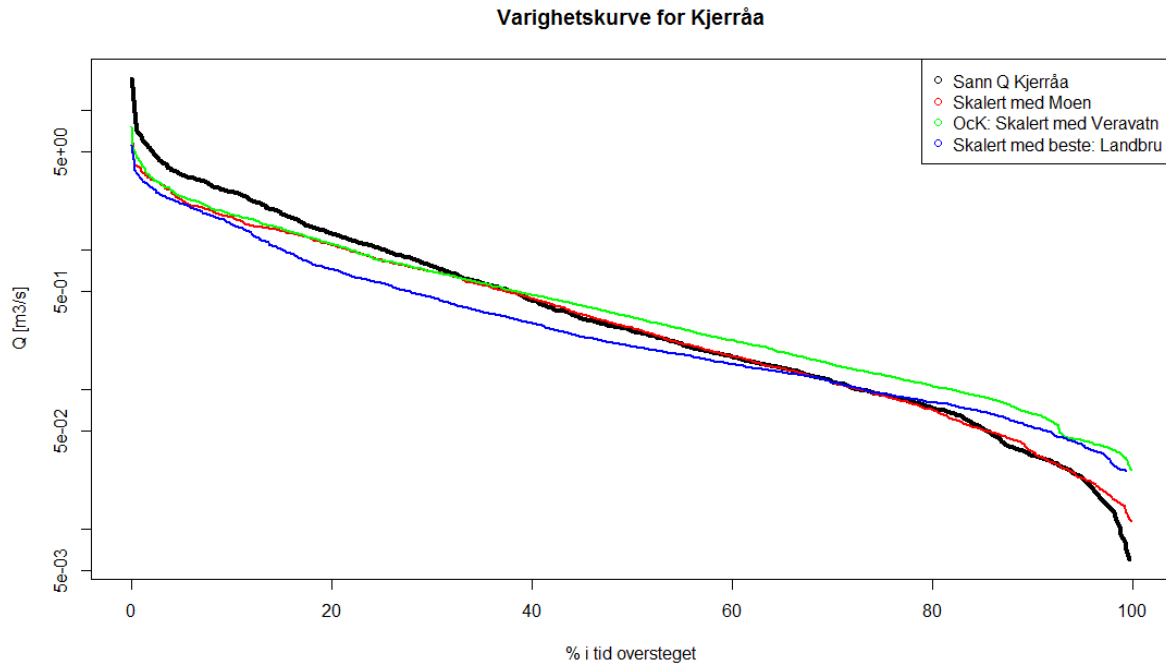


Figur 6.12: Hydrogram for Kjerråas medianår med skalerte serier

Kjerråa har et tydelig avrenningsregime, med mest vann om våren med snøsmelting og nedbørshendelser om høsten. Det er svært lave vannføringer over lengre perioder om vinterstid, som ikke finnes lignende til verken om sommer eller høst. Et tegn på at Kjerråa er et lite felt ligger i de bratte, hyppige og store endringene. Verken serien som er skalert fra Moen eller fra Veravatn gjengir dem særlig godt. Med henvisning til vedlegg B vurderes den Landbru-skalerte serien som den som til minst grad evner å representere de hyppige variasjonene i Kjerråa. Dog ser avrenningsregimet ut til å stemme bedre enn hva tilfellet er for Veravatn.

Fra varighetskurven i Figur 6.13, vises skalerte serier som alle gir for lave flomverdier. Dette er typisk ved skalering til et så lite felt som Kjerråa. De skalerte seriene har deretter en slakere natur, men det vises at data skalert fra Moen følger varighetskurven til Kjerråa, mens Veravatn-serien fortsetter slakere, etter at de har krysset hverandre ca. ved 35 %

overskredet. Derfor gir Moen gode verdier i store deler av produksjonsområdet for varighetskurven, mens Veravatn-serien gir for lave høyvannføringer og for høye lavvannføringer. Det best korrelerte feltet, Landbru limn., gir den dårligst tilpassede varighetskurven, spesielt for den øverste halvparten av vannføringsverdier.



Figur 6.13: Varighetskurver for Kjerråa og skalerte serier

Effekten av for små estimater av flomverdiene sees også for middelvannføring og slukeevne. De blir underestimerte for alle skalerte serier, men her er Veravatn best på grunn av for høyt estimerte verdier på nedre halvdel av varighetskurven.

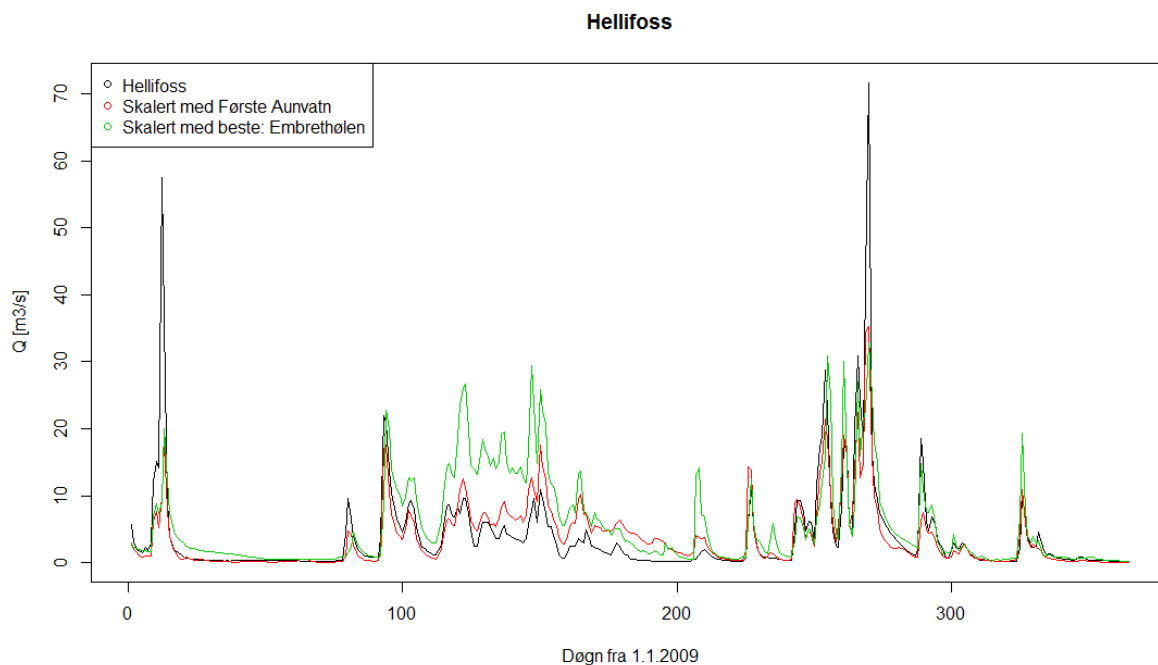
Tabell 6-7: Skaleringsresultater for Kjerråa

Kjerråa	Målt verdi	Skalering med Moen (7)	Ock: Skalert med Veravatn (10)	For sammenligning: Skalert med Landbru limn. (1)
MAE [m <sup>3</sup> /s]		0,407	0,501	0,397
NS på tidsserie		0,651	0,497	0,509
5-persentil	0,023	0,023	0,043	0,040
Qmiddel	0,861	0,624	0,673	0,506
2*Qmiddel	1,73	1,25	1,35	1,01
Tilsv. persentil	15,66 %	20,88 %	19,41 %	24,97 %

Landbru limn., som er oppgitt som feltet med best korrelasjon, er det et av to tilfeller i studiet hvor Nash Sutcliffe-størrelsen ikke er størst for feltet med best korrelasjon. Den visuelle vurderingen av både hydrogrammet og varighetskurven, underbygger også at Landbru limn. ikke er det beste feltet for skalering til Kjerråa, selv om korrelasjonsresultatene indikerte det.

## 6.2.7 Hellifoss

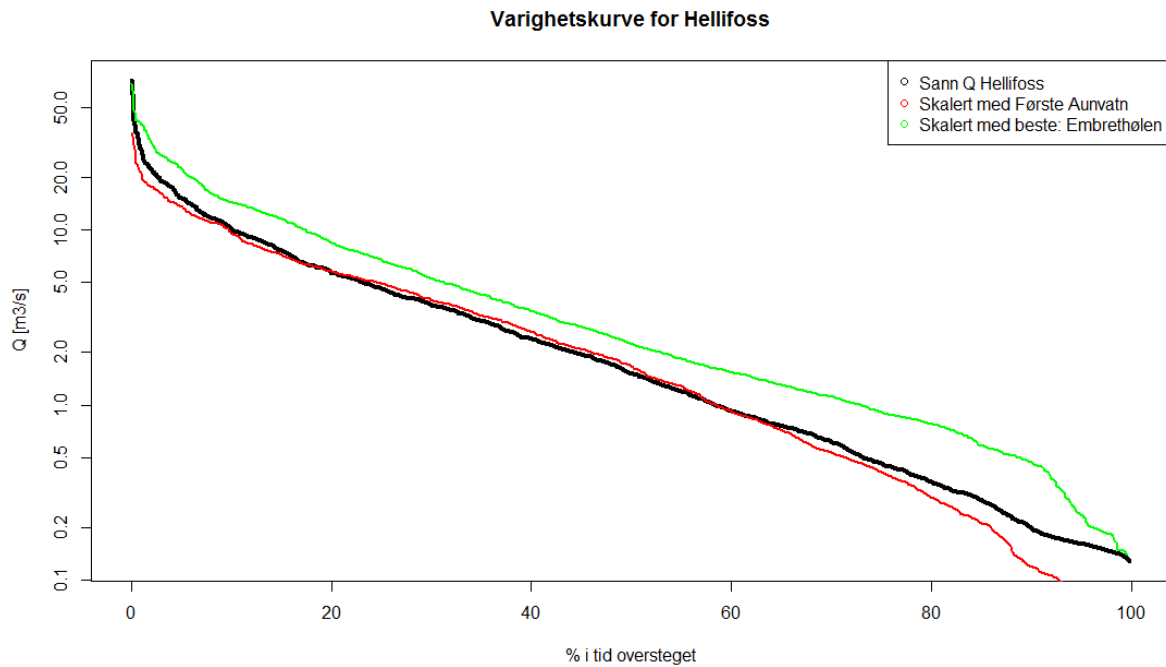
Hellifoss ble skalert med Første Aunvatn for begge metodene, som er feltet med nest best korrelasjon med 0,700. Embrethølen, som ligger ca. 80 km unna, viser en korrelasjon så vidt bedre med 0,707 og er inkludert her for sammenligning. Dataperioden er fra 1. januar 2008 til 31. desember 2011 og gir godt grunnlag for varighetskurvene. Også her er 2009 medianåret og vist i Figur 6.14.



Figur 6.14: Hydrogram for Hellifoss' medianår med skalerte serier

Hellifoss har i likhet med de fleste andre feltene et mønster med flomtopper om vår og høst, men året som er vist har to av de største flomhendelsene i Hellifoss for de fire årene, slik at vårflommen i figuren over, ser mindre ut for dette året. Lave vannføringer kjennetegner vinterperioden. Første Aunvatn estimerer for lave flomverdier, men ser ellers ut til å stemme relativt bra, for høst- og vinterperiodene. Under siste halvdel av perioden for snøsmelting, har den en tendens til å overestimere, også for de andre årene som er undersøkt. For serien som er skalert med Embrethølen ser den ut til å generelt overestimere, og spesielt for snøsmeltingsperioden.

Varighetskurvene viser også at flomverdiene fra Første Aunvatn-serien blir estimert for lavt. Videre er den meget godt tilpasset de målte verdiene for produksjonsdelen av den. For de aller minste vannføringene vises det at Første Aunvatn estimerer lavere enn de faktiske data. Den skalerte 5-persentilen er 79 l/s, noe som er under halvparten av den målte 5-persentilen på 162 l/s. For verdiene på middelvannføring og slukeevne stemmer estimatene bedre og skilnaden på tid overskredet for slukeevnen er kun 1,4 %, noe som er nest best i studiet.



Figur 6.15: Varighetskurver for Hellifoss og skalerte serier

Den antatt beste skaleringsserien sin varighetskurve gjengir at den konsekvent overestimerer for Hellifoss. Det gjør at den for samtlige av kriteriene i studiet, bortsett fra 5-persentilen, presterer dårligere enn Første Aunvatn. Det presiseres at forskjellen i korrelasjonen mellom feltene kun er 0,007.

Tabell 6-8: Skaleringsresultater for Hellifoss

<b>Hellifoss</b>	<b>Målt verdi</b>	<b>Skalering med Første Aunvatn</b>	<b>Før sammenligning: Skalert med Embrethølen (1)</b>
		<b>(2)</b>	
MAE [m <sup>3</sup> /s]		1,790	2,968
NS på tidsserie		0,663	0,110
5-persentil	0,162	0,079	0,236
Qmiddel	3,88	3,52	5,53
2*Qmiddel	7,78	7,05	11,03
Tilsv. persentil	14,71 %	16,07 %	9,17 %

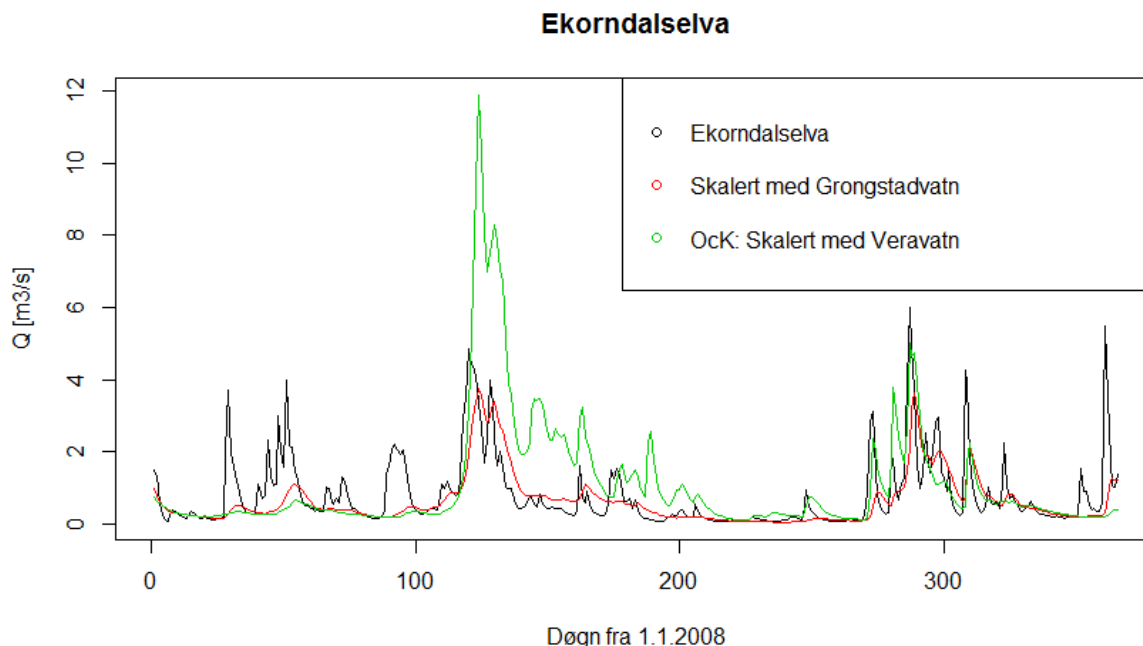


## 6.2.8 Ekorndalselva

Ekorndalselva ble skalert med Grongstadvatn (6) ved tradisjonell metode, mens kartkorrelasjonsmetoden valgte Veravatn(18). Ekorndalselva ligger hele 89 km unna Veravatn. Enda lengre er det til feltet Krinsvatn, som oppnår best korrelasjon med Ekorndalselva, som ligger ca. 110 km i sørvestlig retning. For Ekorndalselva er det fire års data fra 1. september 2007 til 31. august 2011. Medianåret er 2008 og vist i Figur 6.16. Det viser et år med vannføringshendelser om vinteren og en periode om sommeren med lavvannføringer. Ellers er det lignende på de andre feltene med mye vann vår og høst. Med hensyn på lesbarhet, vises det igjen til vedlegg B for hydrogram med beste felt inkludert.

Tidsseriene viser at hendelsene vinterstid ikke er forekommet i verken Grongstadvatn eller Veravatn. Videre viser Veravatn-serien en lang periode med for høye verdier, antakelig grunnet større grad av snøsmelting. Grongstadvatn er langt bedre tilpasset, men plukker ikke opp hyppige variasjoner i vannføringen i Ekorndalselva. For høstperioden er det hyppige variasjoner for alle årene og det viser seg vanskelig å representere de presist i både størrelse og korrekt tid.

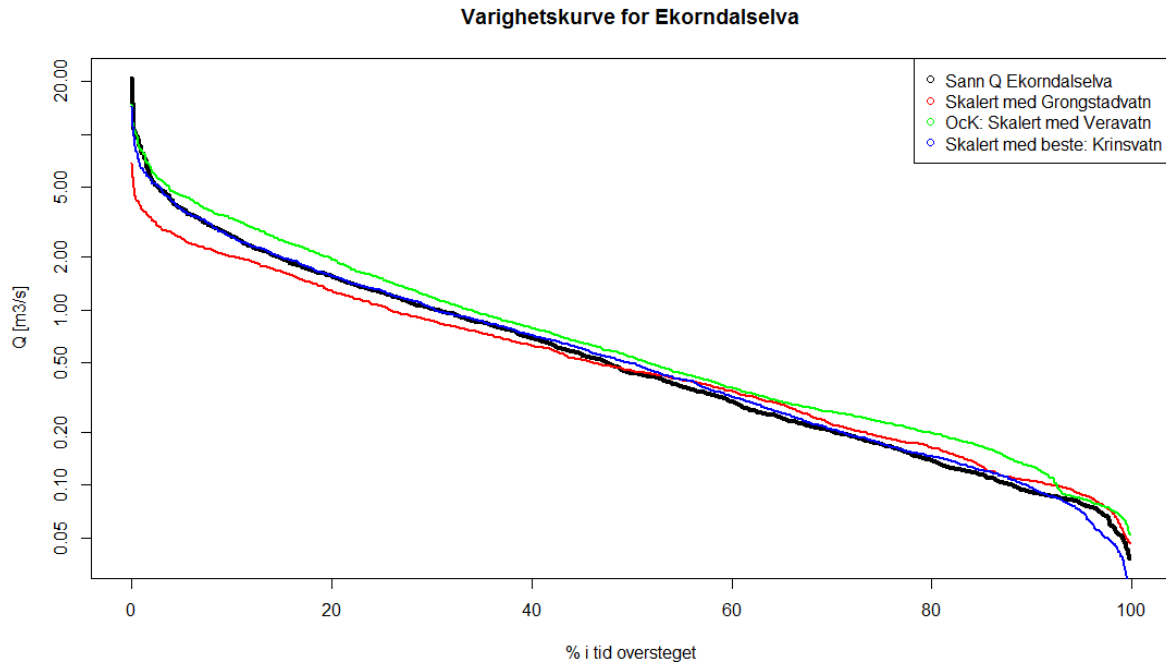
Hydrogrammet som er skalert med Krinsvatn viser en bedre tilpassning av vinterhendelsene. Visuelt ser det ut til at Krinsvatn estimerer bedre enn de to andre feltene, men med en tendens til å overestimere høye vannføringer. Samtidig er det enkelthendelser som tydelig ikke er overførbare mellom feltene.



Figur 6.16: Hydrogram for Ekorndalselvas medianår med skalerte serier

Mens tilpassingen til tidsserien rent visuelt ser ganske dårlig ut for metodenes valg av skaleringsfelt, ser varighetskurvene ut til å være mye riktigere. Grongstadvatn-serien har

effekten av et større felt og dermed en slakere kurve med estimater av for små høyvannføringer og for store lavvannføringer. Veravatn dekker i bedre grad de største flommene, men ligger jevnt litt for høyt i forhold til den korrekte serien. Tabell 6-9 viser at både for 5-persentilen og middelvannføringen, så treffer den skalerte serien fra Veravatn bedre enn Grongstadvatn. Varighetskurven til Krinsvatn ser meget godt tilpasset ut, med kun marginale forskjeller for de aller minste vannføringene.



Figur 6.17: Varighetskurver for Ekorndalselva og skalerte serier

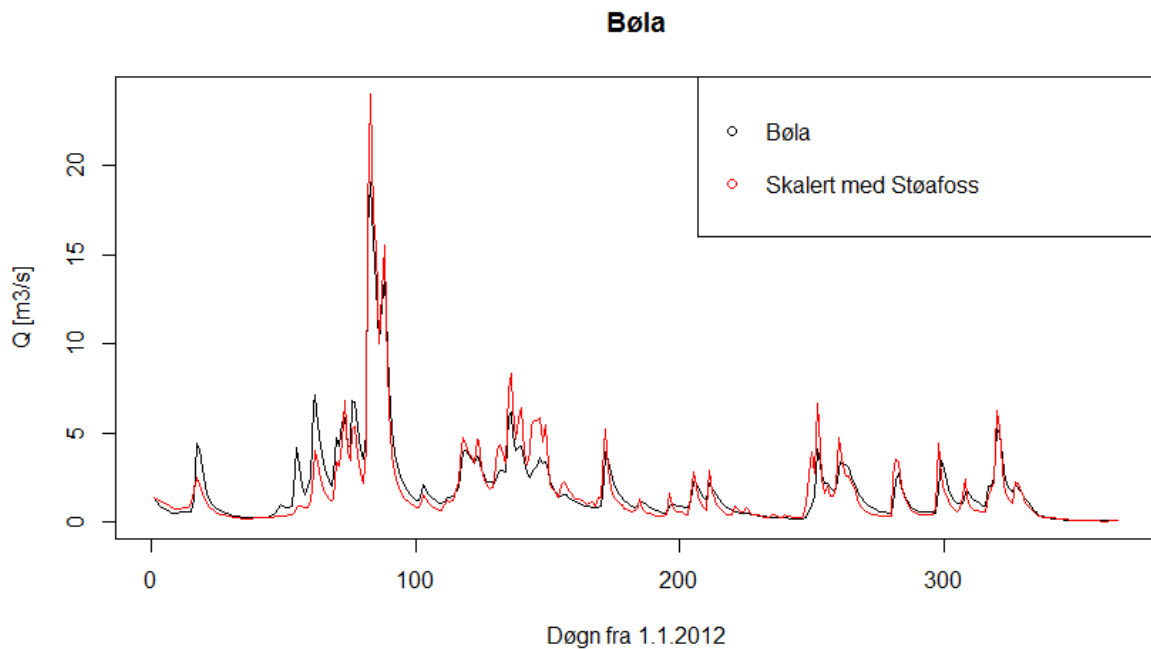
Den gjennomsnittlige absolutte feilen i estimatene er mindre for Grongstadvatn-serien, og Nash Sutcliffe-tallet viser også en mye bedre tilpassing til tidsserien ved Grongstadvatn-serien, enn hva tilfellet er for Veravatn. Krinsvatn presterer bedre enn de to valgte feltene for alle kriteriene, bortsett fra 5-persentilen hvor Veravatn estimerer en anelse bedre.

Tabell 6-9: Skaleringsresultater for Ekorndalselva

<b>Ekorndalselva</b>	<b>Målt verdi</b>	<b>Skalering med Grongstadvatn (6)</b>	<b>Ock: Skalert med Veravatn (18)</b>	<b>For sammenligning: Skalert med Krinsvatn (1)</b>
MAE [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]		0,569	0,952	0,404
NS på tidsserie		0,322	-0,423	0,557
5-persentil	0,078	0,088	0,084	0,070
Qmiddel	1,043	0,786	1,214	1,022
2*Qmiddel	2,08	1,57	2,42	2,05
Tilsv. persentil	13,95 %	19,84 %	11,08 %	14,30 %

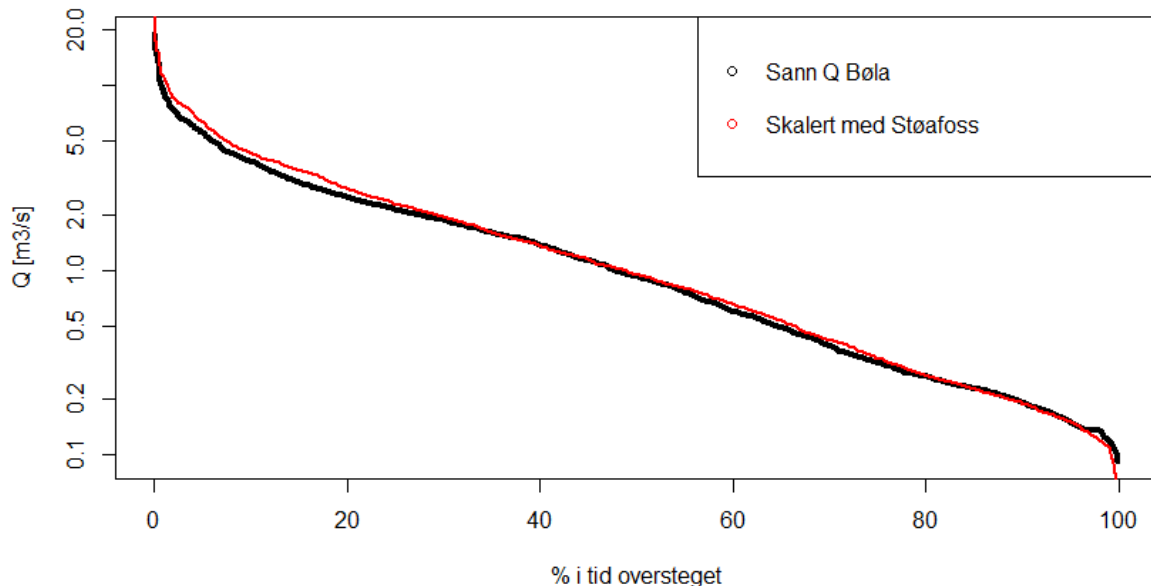
## 6.2.9 Bøla

For Bøla endte de to metodene opp med samme felt for skalering, Støfoss. Bøla har data fra 1. januar 2009 til 31. desember 2012, hvor 2012 er medianåret og vist i Figur 6.18. Som de fleste andre feltene preges også Bøla av vårflom og ellers store nedbørshendelser om høsten. Den høyeste flomverdien som er registrert i de fire årene er den for våren 2012. Tidsseriene viser at Støfoss har mange av de samme variasjonene og klarer tidvis å skalere presist for Bøla. Som det er observert for flere felt, er de største skilnadene i snøsmeltingen og at den kan vare over en lengre tid i Støfoss, slik at det for siste del av snøsmeltingen kan bli overestimert for Bøla. For nedbørshendelsene om sommeren og høsten ser skaleringen presis ut, men at Støfoss-serien har et brattere preg enn Bøla-serien.



Figur 6.18: Hydrogram for Bølas medianår med skalerte serier

Varighetskurve for Bøla



Figur 6.19: Varighetskurver for Bøla og skalerte serier

Skilnadene i varighetskurvene er heller ikke store. Visuelt ser den meget presis ut for alle vannføringer. Den største skilnaden er at Støafoss tendenserer til å overestimere de 20 % høyeste vannføringene, men i mindre grad enn vi har sett ved tidligere felt.

De statistiske verdiene MAE og NSE for denne skaleringsserien, for sammenligning, er blant de bedre i studiet. Støafoss er presis både på tidsserien og med varighetskurven, hvor den er helt korrekt på 5-persentilen, men har en margin på middelvannføringen.

Tabell 6-10: Skaleringsresultater for Bøla

Bøla	Målt verdi	Skalering med Støafoss (1)
MAE [m <sup>3</sup> /s]		0,532
NS på tidsserie		0,7072
5-persentil	0,149	0,150
Qmiddel	1,624	1,791
2*Qmiddel	3,25	3,57
Tilsv. persentil	13,34 %	11,63 %

## 6.2.10 Oppsummering

For de to statistiske kriteriene som beskriver såkalt «goodness of fit» for tidsseriene presterer seriene som er funnet ved tradisjonell metode bedre for begge størrelsene for samtlige fem felt som er skalert med ulike felt. For feltene Vesteråa og Ekorndalselva er forskjellen mellom de skalerte seriene størst. Begge feltenes skalerte serier fra kartkorrelasjonsmetoden får negativ Nash Sutcliffe-verdi sammenlignet med den målte serien. I tillegg er MAE mye større, spesielt for Vesteråa hvor den er tilnærmet tre ganger større i serien som er skalert fra Veravatn sammenlignet med Øyungen. Felles for begge feltene er at kartkorrelasjonsmetoden velger Veravatn for skalering. For de tre andre feltene, hvor metodene velger ulike felt for skalering, er differansen i estimeringen langt mindre, men fremdeles i høyeste grad betydelig. Økningen i MAE mellom tradisjonelt valgt skaleringsfelt og gjennom kartkorrelasjonsmetoden ligger jevnt på omtrent 25 % for Vølsetelva, Sandvasselva og Kjerråa. Samtidig er Nash Sutcliffe-koeffisienten lavere, men for å sette det i perspektiv, får de kartkorrelasjonsskalerte seriene, både for Sandvasselva og Kjerråa bedre Nash Sutcliffe-verdi enn Embrethølen gjorde for Navlusfoss, som i vurderingen av skaleringsfelt ble vurdert som det best egnede i studiet.

I den visuelle vurderingen for tilpassing til målt varighetskurve, samt for 5-persentilen, middelvannføring, slukeevne og hvilken persentil det tilsvarer, er det ikke entydige resultater som gjør en av metodene foretrukket. Den tradisjonelle skaleringen er best i estimeringen for de fire verdiene for to av de fem feltene, mens den visuelle vurderingen favoriserer tradisjonell skalering for tre av dem. Det er ingen gjennomgående mønstre for alle varighetskurvene som tilsier om en av metodene gjør denne estimeringen bedre enn den andre. Det er verdt å merke seg at, mens forskjellene i tidsseriene for enkelte av feltene var betydelige, er det vanskelig å finne generelle forskjeller i varighetskurvene fra estimeringen.

For å vurdere estimeringsevnen opp mot korrelasjon er det lignende gjennomgående trender. Nash Sutcliffe- og MAE-kriteriet ser ut til å ha en sammenheng med Kendalls tau mellom seriene. Kun for Hellifoss, hvor det skiller 0,007 i Kendalls tau, presterer den antatt dårligste av dem bedre for begge kriteriene. Landbru limn. som oppnår høyest korrelasjon med Kjerråa, gir også dårligere Nash Sutcliffe-koeffisient enn Moen som er valgt ved tradisjonell metode. For de resterende feltene er det gjennomgående relasjon mellom Kendalls tau og disse kriteriene. Derimot lar ikke verdiene fra varighetskurven seg konsekvent estimeres bedre ved det antatt beste skaleringsfeltet. Det er kun for Sandvasselva at det antatt beste feltet estimerer både lav- og middelvannføring mest presist. Den visuelle vurderingen av varighetskurven er heller ikke entydig. Krinsvatn gir en forbedret og meget presis varighetskurve for Ekorndalselva i forhold til de valgte skaleringsfeltene, mens Landbru limn. ikke kan sies å forbedre noen estimater for Kjerråa.

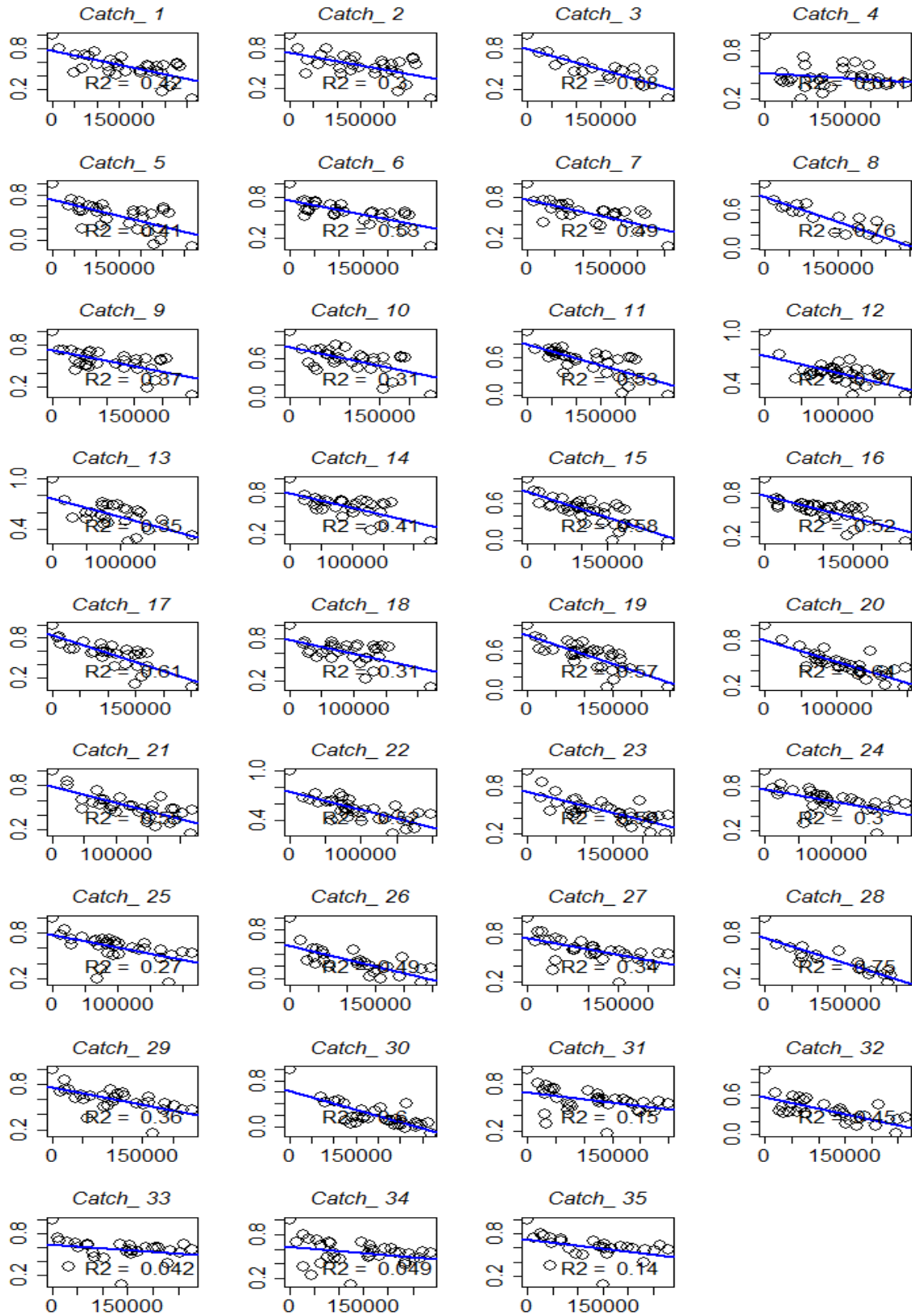
## 6.3 Kartkorrelasjonsmetoden

Det følgende delkapitlet vil presentere delresultater fra kartkorrelasjonsmetodens steg, og vil ved hjelp av sammenligning med resultatene i Zelelew og Alfredsen (2014), analysere bakenforliggende årsaker til feilestimeringen som er presentert tidligere.

### 6.3.1 Referansefeltenes hydrologiske korrelasjon

Som vist tidligere for studiefeltene er det i Figur 6.20 på side 89 oppsummert distanse- og korrelasjonssammenhengene for referansefeltene i studiet. Den viser strukturene som er funnet for hvert feltpar mellom Kendalls tau for vannføringsverdiene og distansen mellom feltenes arealtingdepunkt. Det er i varierende grad at korrelasjonen avtar med distanse, slik det også er vist i Zelelew og Alfredsen (2014). I dette studiet er det nærmeste feltet også det best korrelerte for 16 av de 35 feltene, altså 46 %, mot 33 % i Zelelew og Alfredsen(2014). Dette viser at distanse også for dette området kan forklare noe av likheten i hydrologisk respons, men ikke kan brukes alene som grunnlag for å velge felt for skalering. Det er flere eksempler i studieområdet på at beste korrelerte felt er over 70 km unna, og dermed ikke blant de 5-10 nærmeste referansefeltene. Man kan se dette for eksempel for felt nr. 4 Mevatnet, nr. 10 Første Aunvatn og nr. 11 Landbru limn.

Det er også vist for studiefeltene at Ekorndalselva og Hellifoss får beste korrelerte referansefelt som er svært langt unna, henholdsvis 110 km og 80 km. Det er avstander som gjør dem utelukket i valg av skaleringsfelt for tradisjonell metode, og om antakelsen om at det beste korrelerte feltet også gir best estimering av avrenning, er dette tilfeller hvor kartkorrelasjonsmetoden er fordelaktig. De to nevnte feltene viser dog helt ulike estimeringsresultater. Mens det for Ekorndalselva er svært fordelaktig å skalere med Krinsvatn, blir det reduserte estimeringsresultater for Hellifoss. Størrelsene av Kendalls tau for stasjonene, gir imidlertid støtte for slike resultater. Emrethølen er kun marginalt bedre korrelert med Hellifoss enn Første Aunvatn, mens Krinsvatn har en forbedret Kendalls tau med hele 0,151 i forhold til Grongstadvatn.



Figur 6.20: Komplette distanse- og korrelasjonsoversikt for referansefeltene

### 6.3.2 Inkludering av kovariabler

I ko-kringing er det inkludert fire topografiske og en klimatisk variabel for å bedre korrelasjonsestimeringen ved høyere oppløsning av variabler som korrelerer med prediksjonsvariabelen. I det følgende er det sett på hvordan disse størrelsene varierer i studiefeltet og, sammen med hvilken variabel som blir utvalgt som den best korrelerte med tau for hvert felt, hvordan den påvirker estimeringen feltvis fra ordinær kringing til ko-kriging. Tabell 6-11 og Tabell 6-12 viser størrelsene av ko-variablene for henholdsvis studiefelt og referansefelt. Det påpekes at ko-variablene i den feltvise operasjonen for ko-kriging ble normert fra 0 til 1 etter formel (4.6).

Tabell 6-11: Kovariabler for studiefeltene

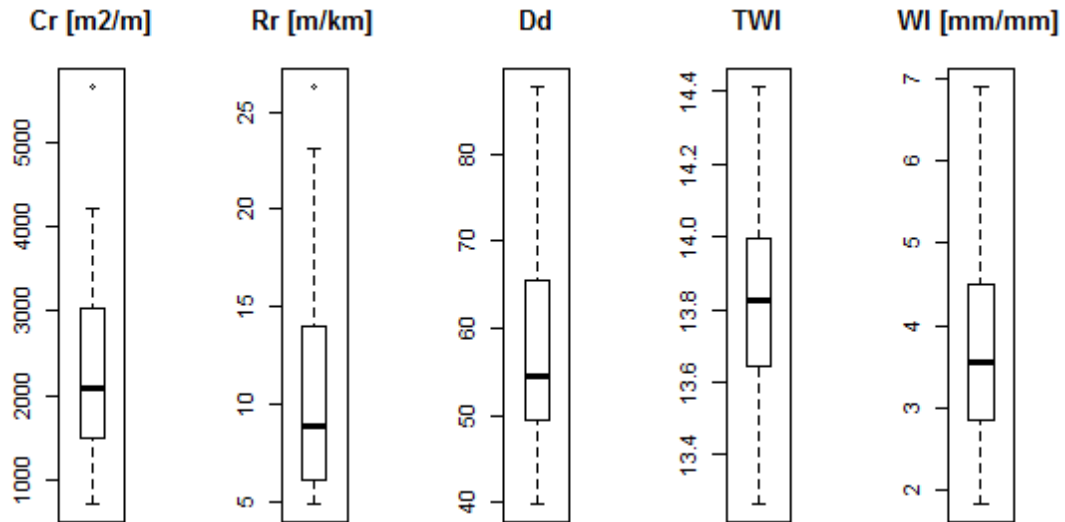
<b>Feltnavn</b>	<b>Cr [m<sup>2</sup>/m]</b>	<b>Rr [m/km]</b>	<b>Dd</b>	<b>TWI</b>	<b>WI [mm/mm]</b>
Vølsetelva	1 508	14	54	13.73	4.1
Vesteråa	1 222	9	88	13.59	3.1
Fiskløysa VM	1 347	21	58	13.73	2.8
Trongfossen	5 653	5	52	13.77	3.7
Storåselva	3 017	8	54	14.16	2.6
Sandvasselva	702	16	69	13.72	4.5
Saksvatn	1 523	13	86	13.84	3.9
Navlusfoss	3 023	6	47	13.92	2.5
Kjerråa	708	18	70	14.41	4.4
Hellifoss	1 513	18	40	13.52	4.9
Flåttadal	2 056	12	68	13.94	4.5
Ekorndalselva	856	26	71	13.26	4.5
Bøla	1 118	18	65	13.87	2.7



Tabell 6-12: Kovariabler for referansefeltene

Felt navn	Cr [m <sup>2</sup> /m]	Rr [m/km]	Dd	TWI	WI [mm/mm]
Lavvatn	1 522	16	NA	13.52	6.3
Møllehusfoss	1 824	23	50	13.40	6.4
Strompdal	2 345	14	40	13.37	6.9
Mevatnet	1 789	13	48	13.52	5.1
Nervoll	4 199	9	46	13.83	3.7
Kapskarmo	3 313	8	50	13.70	4.5
Åbjørvatn	2 692	7	49	13.57	4.7
Namsvatn	4 203	7	56	13.98	3.5
Moen	1 462	21	48	13.39	4.3
Første Aunvatn	1 798	19	40	13.35	4.9
Landbru limn.	1 330	14	52	13.78	2.9
Salsvatn	3 057	5	78	13.60	4.6
Grongstadvatn	2 855	5	59	13.79	4.0
Iskvernfoss	2 463	10	60	13.74	3.6
Murusjø	2 612	7	73	14.10	2.1
Trangen	3 511	5	55	13.97	2.6
Skjellbreivatn	3 533	9	57	14.05	2.2
Embrethølen	3 036	6	52	13.85	2.8
Lenglingen	3 460	8	57	14.05	2.3
Øyungen	2 185	5	48	13.83	4.2
Stordalsvatn	2 015	6	47	13.68	4.8
Støafoss	3 463	5	62	14.06	3.0
Krinsvatn	2 277	6	54	13.83	4.6
Grunnfoss	3 927	5	50	13.83	3.5
Veravatn	2 090	10	78	14.22	3.3
Engstad	813	11	53	14.15	1.8
Dillfoss	2 980	6	59	13.79	3.3
Storvatn-	2 009	6	50	13.97	3.8
Innsvatn	1 395	5	67	14.28	3.3
Valen	944	7	NA	14.24	3.0
Høggås bru	3 038	7	64	14.01	3.4
Børstad	1 222	11	50	13.89	2.4
Mannseter	1 797	14	67	13.54	3.2
Kjeldstad i	1 694	11	56	13.78	3.0
Trøa	2 470	13	53	14.04	2.8

Med fem variabler for 48 felt er dette tabeller med mye informasjon, men som har stor verdi i diskusjon av ko-kriging og derfor tas med. For et bedre visuelt inntrykk av spennet i verdier og hvordan de fordeler seg, er det supplert med et boksdiagram for de samme data i Figur 6.21.

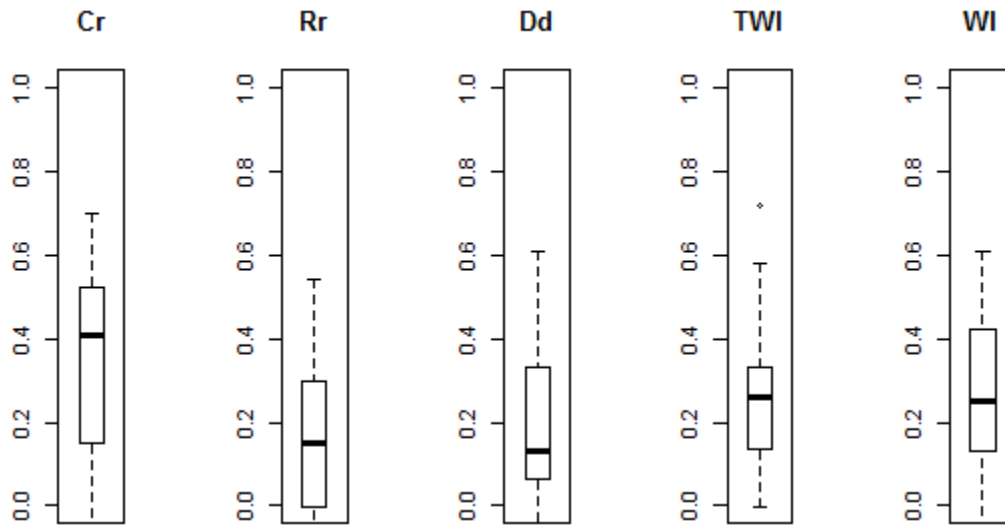


Figur 6.21: Oversikt over kovariablenes størrelse

Videre vurderes hvilke kovariabler som korrelerer best med vannføringskorrelasjonene i studiet. Pearsons  $r$  for alle kovariablene for alle feltene er vist i Tabell 6-13, hvor den valgte er markert med skygge. Det er også vist ved boksdiagram i Figur 6.22 for et bedre visuelt inntrykk og for sammenligning med Zelelew og Alfredsen(2014).

Spredningsdiagram med tilpasset lineær korrelasjonslinje og  $-$ verdi er i det digitale vedlegget.

Resultatene for korrelasjon mellom kovariablene og primærvariabelen skiller seg i stor grad fra Zelelew og Alfredsen(2014) og deres tilsvarende resultater fra Telemark og Buskerud. Resultatene viser at variabelen «compactness ratio» er den som gir best lineær korrelasjon med vannføringskorrelasjonsvariabelen. Helt nord i studieområdet, altså for feltene med lavest ID, viser resultatene at våthetsindeksene gir best korrelasjon, og da for det meste i form av «Topographic Wetness Index.» Lengre sør, og for store deler av kjerneområdet i dette studiet, er det feltenes grad av kompakthet som blir inkludert som kovariabel for ko-kriging. For enkelte felt blir variabelen «Drainage density» valgt, som forteller hvor tett det fins elver i feltet. Alle fem feltene hvor Dd har høyest korrelasjon med Kendalls tau, har til felles at de har en høy verdi av Dd, altså mye elver i forhold til areal.



Figur 6.22: Oversikt over kovariablenes korrelasjon med primærvariabelen

Resultatene av kovariablene som er valgt for ko-kriging, viser seg å være av stor påvirkning på feltene hvor kartkorrelasjonsmetoden presterer dårligst i forhold til den tradisjonelle metoden. Vesteråa, Kjerråa og Ekorndalselva er de feltene hvor metodene skiller mest i form av korrelasjon til skaleringsfeltet. De to førstnevnte får Veravatn som beste skaleringsfelt ved kartkorrelasjon, mens Ekorndalselva får Innsvatn og deretter Veravatn. Som det er sett, evner Veravatn dårlig å representere avrenningsmønsteret til disse tre feltene. Vesteråa, Kjerråa og Ekorndalselva har også til felles en verdi av «Drainage density» relativt lik Veravatns og Innsvatns. Derfor estimeres de tre feltene til å korrelere godt med Veravatn og Innsvatn, etter inkludering av Dd som kovariabel.

Tabell 6-13: Korrelasjon mellom alle kovariabler og primærvariabelen for alle felt

ID	Feltnavn	Cr	Rr	Dd	TWI	WI
1	Lavvatn	0,04	0,29	NA	0,58	0,58
2	Møllehusfoss	0,14	0,54	0,09	0,57	0,48
3	Strompdal	0,16	0,54	0,39	0,72	0,50
4	Mevatnet	0,25	-0,12	0,12	0,34	0,61
5	Nervoll	0,46	-0,07	-0,04	0,00	0,13
6	Kapskarmo	0,32	-0,25	0,13	0,33	0,05
7	Åbjørvatn	0,23	-0,26	0,11	0,46	0,09
8	Namsvatn	0,52	-0,03	0,10	0,02	-0,10
9	Moen	-0,06	0,38	0,12	0,54	0,30
10	Første Aunvatn	0,05	0,39	0,17	0,52	0,27
11	Landbru limn.	-0,33	0,14	-0,17	0,08	0,03
12	Salsvatn	0,58	0,35	0,57	0,24	0,42
13	Grongstadvatn	0,70	0,33	0,13	0,27	0,46
14	Iskvernfoss	0,46	-0,16	0,19	0,33	0,21
15	Murusjø	0,29	0,06	0,42	0,13	0,21
16	Trangen	0,60	-0,05	0,02	0,00	0,03
17	Skjellbreivatn	0,59	0,06	0,02	0,00	0,03
18	Embrethølen	0,57	-0,09	0,01	0,17	0,05
19	Lenglingen	0,57	0,09	0,03	0,14	0,19
20	Øyungen	0,52	0,30	0,12	0,29	0,42
21	Stordalsvatn	0,44	0,30	0,16	0,34	0,48
22	Støafoss	0,27	0,25	0,33	0,10	0,20
23	Krinsvatn	0,50	0,28	0,12	0,28	0,42
24	Grunnfoss	0,45	0,09	-0,19	0,21	0,31
25	Veravatn	0,10	-0,01	0,52	0,09	0,38
26	Engstad	0,44	0,24	0,28	0,22	0,13
27	Dillfoss	0,56	0,15	0,34	0,30	0,38
28	Storvatn –	0,48	0,45	0,14	0,26	0,46
29	Innsvatn	-0,22	0,28	0,61	0,32	0,41
30	Valen	0,41	0,31	NA	0,30	0,11
31	Høggås bru	0,57	0,00	0,48	0,11	0,34
32	Børstad	0,31	0,21	0,22	0,25	0,07
33	Mannseter	0,10	0,24	0,41	0,27	0,16
34	Kjeldstad i	0,06	0,00	0,06	0,24	0,25
35	Trøa	0,41	0,31	0,04	0,12	0,19

Det er av interesse å finne hvilke felt kartkorrelasjonsmetoden finner som beste skaleringsfelt for feltene hvor kovariabelen Dd har bidratt til et tydelig feil valg.

- Vesteråa: Etter Veravatn med en estimering av korrelasjon på 0,766 er Øyungen med en prediksjon på 0,750. Øyungen er det best korrelerte feltet med Vesteråa, og det som velges både i tradisjonell metode og ved ordinær kriging med en variabel. I kapittel 6.2 ble det presentert svært godeestimeringsresultater ved skalering av Øyungen.
- Kjerråa: Med Veravatn predikeres en korrelasjon lik 0,789. Deretter følger Murusjø med 0,785. Som feltet som gir tredje best predikert korrelasjon er Landbru limn. med 0,679. Murusjø er også ko-kriget med Dd, slik at hvis man ser bort fra felter som er det, blir Landbru limn. skaleringsfelt for Kjerråa ved kartkorrelasjonsmetoden. Korrelasjonsanalysen viser som kjent, ganske riktig, at dette er det beste skaleringsfeltet for Kjerråa, mens estimeringsresultatene ikke var entydig bedre enn Moen.
- Ekorndalselva: Predikert korrelasjon mellom Ekorndalselva og henholdsvis Innsvatn og Veravatn er 0,736 og 0,674. Innsvatn har ikke data for samme periode som Ekorndalselva og Veravatn er derfor nyttet for skalering. Begge er ko-kriget med Dd. Tredje høyest prediksjon gir Stordalsvatn med 0,671, altså marginalt lavere enn Veravatn. Stordalsvatn er det antatt nest beste feltet for skalering til Ekorndalselva i studiet og gir bedre korrelasjon enn Grongstadvatn som ble valgt ved den tradisjonelle metoden.
- For Sandvasselva gir kartkorrelasjonsmetoden Støafoss som beste skaleringsfelt, mens den tradisjonelle metoden gir, det korrelasjonsanalysen viser er best, Øyungen. Støafoss har tredje best korrelasjon med Sandvasselva. Støafoss er også et av de fem feltene hvor Dd er valgt for ko-kriging. Ser man bort fra Støafoss i kartkorrelasjonsmetodens prediksjoner for Sandvasselva, blir Øyungen valgt som skaleringsfelt.

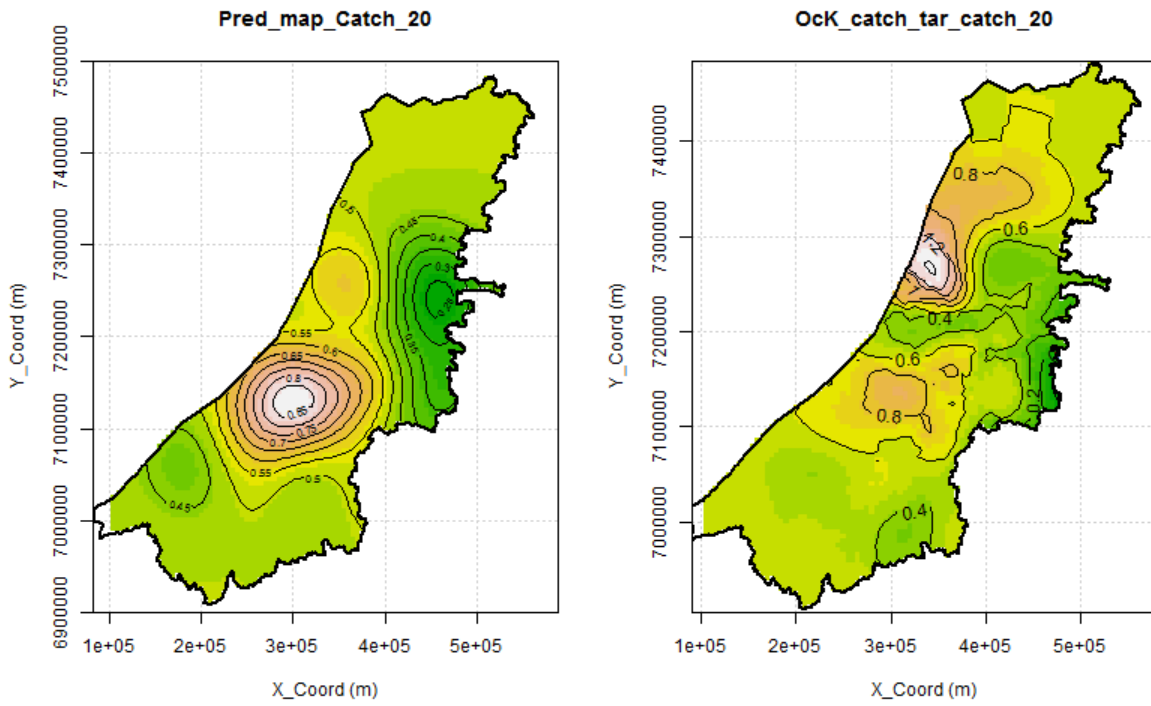
Ved å se bort fra referansefelt hvor Dd er brukt for ko-kriging for disse fire feltene, gir altså kartkorrelasjonsmetoden bedre valg av skaleringsfelt for to av feltene enn tradisjonell metode og like bra for de to andre. For Vesteråa, Sandvasselva og Kjerråa gir metoden feltene som gir best målt korrelasjon, mens for Ekorndalselva feltet med nest best korrelasjon. For Kjerråa gir tradisjonell metode det sjuende best korrelerte feltet, Moen, med tau lik 0,698, mens den for Ekorndalselva gir det sjettede beste, Grongstadvatn med 0,546. Med ekskludering av Dd-feltene gir altså kartkorrelasjonsmetoden skaleringsfelt med bedre korrelasjon for disse to feltene, henholdsvis 0,802 og 0,731.

Under er det vist eksempler på korrelasjonsprediksjon fra fem referansefelt, og hvordan den endres fra kriging til ko-kriging. Alle feltenes prediksjonskart for kriging og ko-

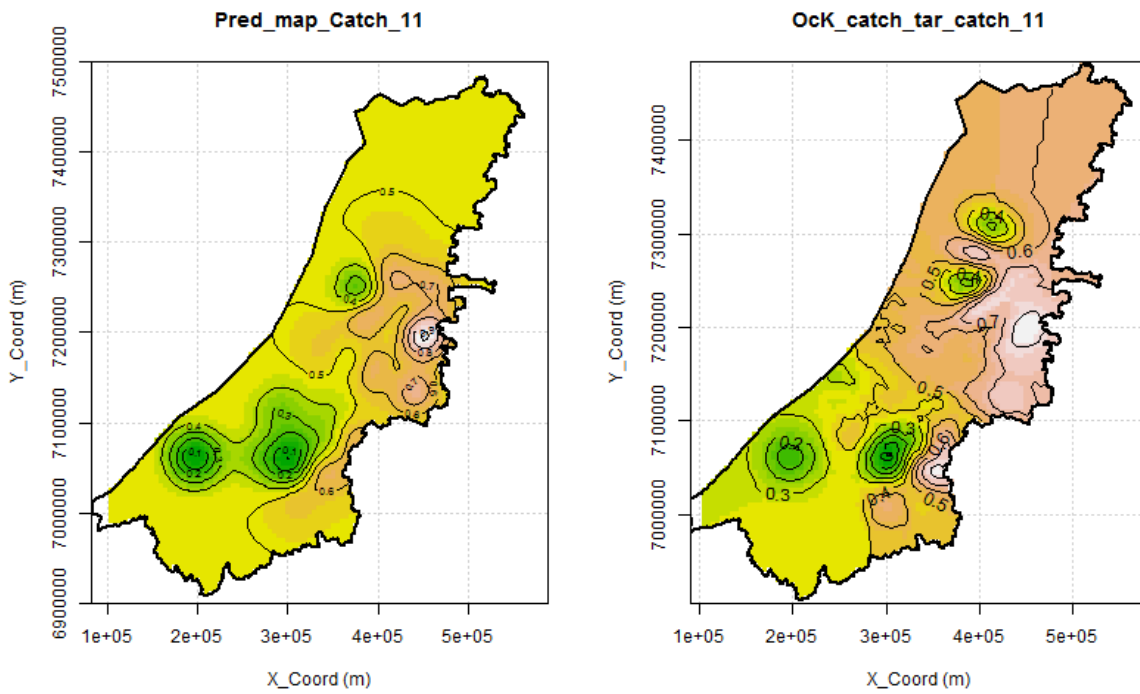
kriging fins i vedlegg C. I teksten vises eksempler for fem forskjellige felt for at alle de forskjellige kovariablene er representert.

Figurene viser at prediksjonene endres i stor grad av kovariablene. Ko-krigingskart er av en mer uryddig art enn krigingskart, hvor det er tydelig at flere punkter i flaten er kjente og at de varierer i større grad enn Kendalls tau gjør ved kriging. Man kan se et tydelig eksempel på at like kovariabler kan potensielt ha en stor effekt på korrelasjonsprediksjonen for felt nr. 20 Øyungen. Ved ko-kriging estimeres Kendalls tau meget høyt for et lite område nord for feltet. Man ser at det er estimert korrelasjonsverdier over 1, noe som er en svakhet ved metoden, da Kendalls tau har en maksimal verdi lik 1. Dette område viser predikert korrelasjon mellom 0,55 og 0,60 ved kriging med en variabel.

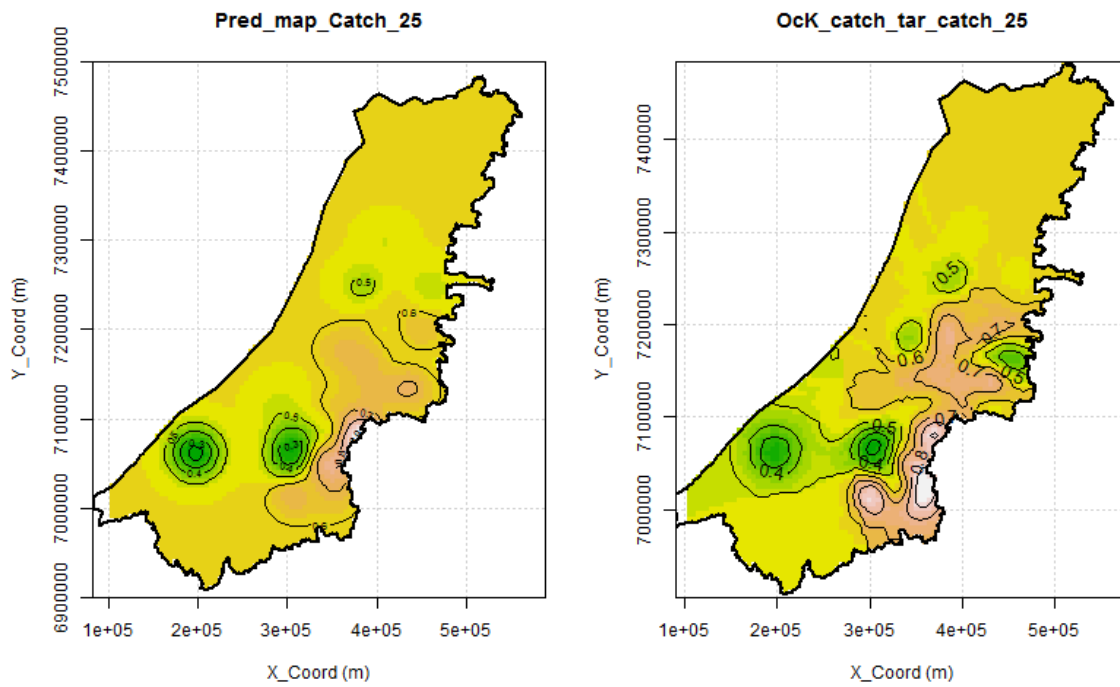
For kartlegging av korrelasjonsstrukturer i studieområdet, kan utvalget i teksten til en viss grad representere hovedtrekkene. Det øvrige studieområdet viser gjennomgående lav korrelasjon med kystfeltene sørvest i studieområdet. Feltene nr. 20 Øyungen, nr. 21 Stordalsvatn, nr. 23 Krinsvatn, nr. 28 Storvatn-Svartelva og til særdeleshet nr. 30 Valen(Laksvatnet) viser korrelasjonsstrukturer som tyder på andre avrenningsmønstre enn for de andre referansefeltene. Spesielt er feltene lengst inn i landet av en annen karakter og oppnår lav korrelasjon med kystfeltene. For disse områdene, lengst øst i studieområdet, oppstår det definerte nord-sør-gående korrelasjonsstrukturer. Et eksempel er at felt nr. 15 Murusjø oppnår Kendalls tau mellom 0,54 og 0,59 med feltene nr. 14 Iskvernfoss, nr. 16 Trangen og nr. 18 Embrethølen, som alle er innenfor 44 km. Mens med nr. 8 Namsvatn og nr. 11 Landbru limn. som er plassert henholdsvis 65 og 49 km i nordlig retning oppnår korrelasjon på 0,68 og 0,69. Resultatene viser korrelasjonsstrukturer som går nord-sør langs svenskegrensen og indikerer at de beste skaleringsfeltene i dette området strekker seg lengre enn nærmeste og i nordlig eller sørlig retning.



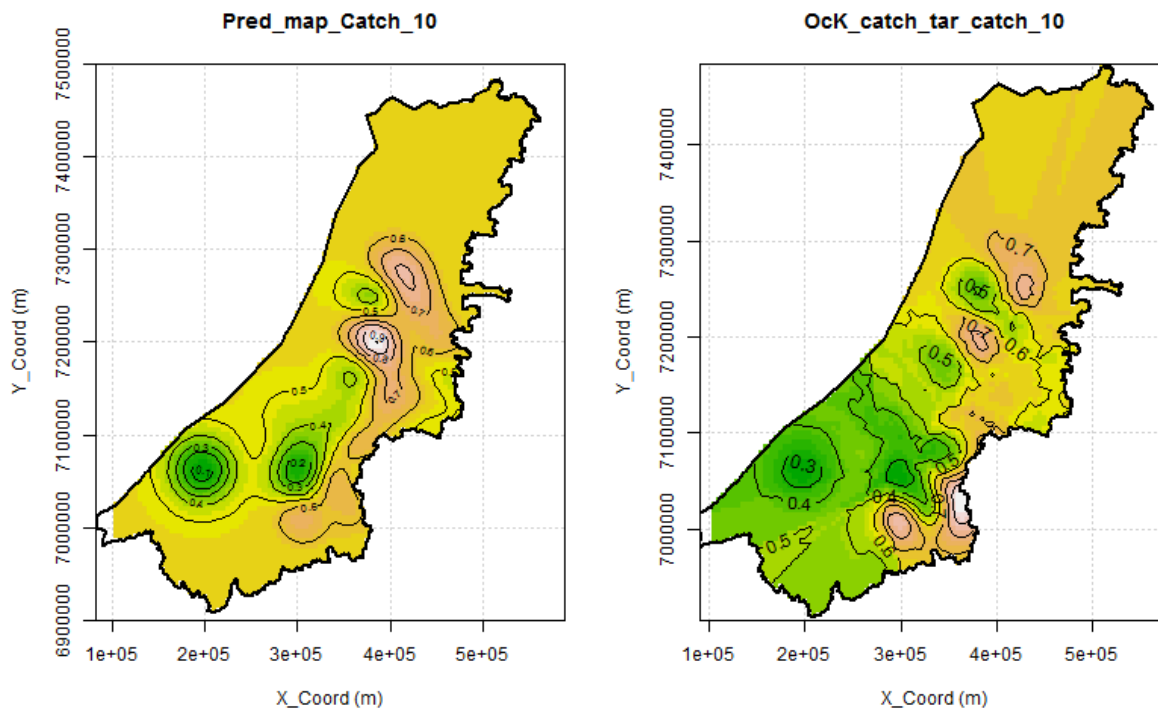
Figur 6.23: Prediksjonskart for nr. 20 Øyungen. Cr brukt som kovariabel.



Figur 6.24: Prediksjonskart for nr. 11 Landbru limn. Rr brukt som kovariabel

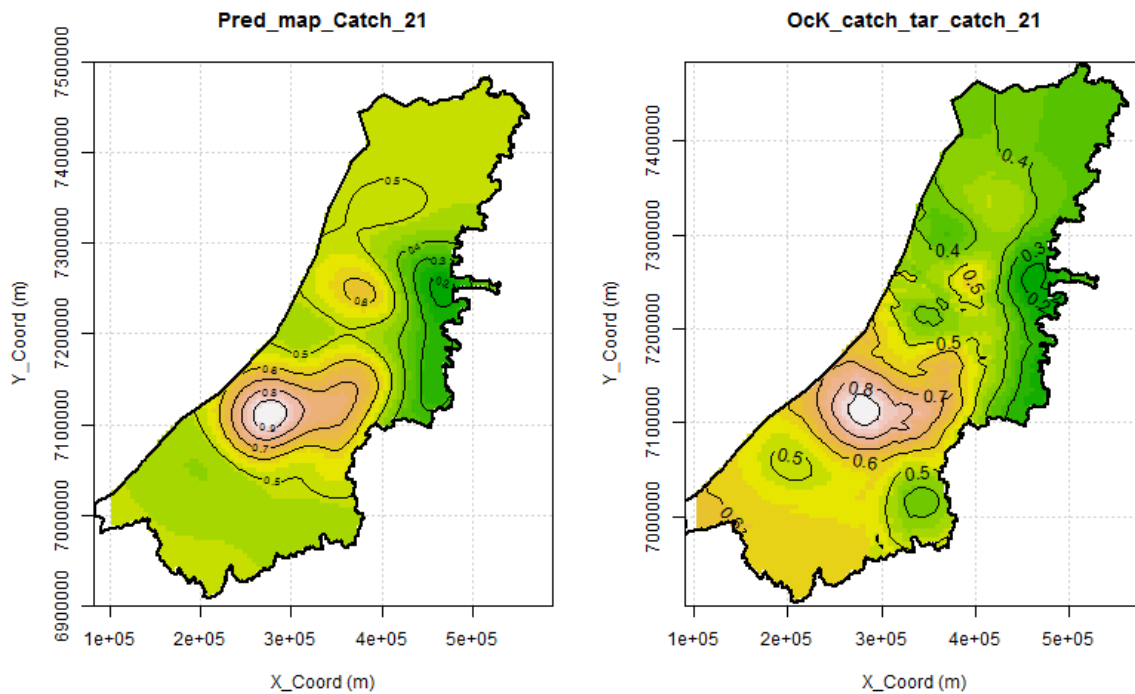


Figur 6.25: Prediksjonskart for nr. 25 Veravatn. Dd brukt som kovariabel.



Figur 6.26: Prediksjonskart for nr. 10 Første Aunvatn. TWI brukt som kovariabel.





Figur 6.27: Prediksjonskart for nr. 21 Stordalsvatn. WI brukt som kovariabel.

### 6.3.3 Vurdering av korrelasjonsprediksjon

For en total vurdering av kartkorrelasjonsmetoden for dette studiet er det gjort en vurdering av de predikerte korrelasjonsverdiene for alle NTE-felt hvor det foreligger vannføringsdata, både for en-variabel og multivariabel metode, opp mot den målte korrelasjonen mellom feltene. Dette er gjort for samtlige felt som det finnes korrelasjon mellom og som er predikert, bortsett fra Trongfossen på grunn av reguleringsutfordringene. Den totale tabellen kan sees i vedlegg E, mens det i tabellen under vises den gjennomsnittlige absolute feilen i estimatene for hvert studiefelt ved kriging og ko-kriging. Det presiseres igjen at NTE-stasjonenes serier er korte og enkelte overlapper referanseserier med kun lite data, slik at målt korrelasjon også innehar en usikkerhet.

Tabell 6-14: Gjennomsnittlig absolutt feilestimering ved kriging(OK) og ko-kriging(OcK)

Feltnavn	Mean absolute error		
	OK	OcK	OcK uten Dd*
Vølsetelva	0,054	0,075	0,075
Vesteråa	0,141	0,166	0,150
Storåselva	0,078	0,083	0,084
Sandvasselva	0,033	0,123	0,119
Navlusfoss	0,082	0,081	0,078
Kjerråa	0,090	0,165	0,160
Hellifoss	0,097	0,123	0,119
Ekorndalselva	0,124	0,114	0,111
Bøla	0,048	0,129	0,127

\*) For kolonnen OcK uten Dd er korrelasjonsestimaterne fra feltene hvor Dd er brukt satt lik estimatet fra feltene fra den ordinære krigingen.

Tabellen viser at inkludering av kovariabler svekker presisjonen av prediksjonene for syv av ni felt, både med og uten Dd-feltene inkludert. Kun Navlusfoss og Ekorndalselva har fått gjennomsnittlig mer presise estimater fra ko-kriging enn kriging. Kun ett felt får bedre estimater av å inkludere Dd i studiet, nemlig Storåselva.

Dette viser at inkludering av kovariabler for dette studiets felt generelt ikke gir sikrere estimering av vannføringskorrelasjon. Kombinert med Figur 6.22, som viser at det i dette studiet er oppnådd svakere korrelasjon mellom primærvariabelen og ko-variablene enn det ble i Zelelew og Alfredsen(2010), er det grunn til å tro at den svake relasjonen mellom variablene medvirker til at det for enkelte felt må benyttes en kovariabel som viser liten grad av lineær relasjon til Kendalls tau, og dermed gir dårligere prediksjoner. I kryssvariogrammene som er grunnlaget for ko-kriging vektlegges ikke kovariabelens variogram etter korrelasjonen med tau, og en dårlig korrelert kovariabel vil ha like stor innflytelse på variogram-modellen som en godt korrelert. Resultatene av kartkorrelasjonsmetodens valg av skaleringsfelt kombinert med estimeringsresultater, viser at det blir svært avgjørende for hvilket felt som blir predikert som best korrelert, hvor like feltenes verdi er for den valgte kovariabel. Effektene av dette kan sees igjen på prediksjonskartene og er under drøftingen av dem poengtert ved eksempel for felt nr. 20 Øyungen. Konsekvensene det potensielt kan gi for estimering av umålte felt er store, som vist for enkelte av feltene i dette studiet.

# Kapittel 7

## Diskusjon

### 7.1 Feilkilder

Først og fremst innebærer kriging og metoden som er brukt for estimering flere feilkilder. Mange av de statistiske prosessene i utviklingen av variogram-modeller og romlig interpolasjon innebærer operasjoner med beregnet usikkerhet. Scriptene og modellene som er brukt skal beregne optimalt og riktigst mulig, men virkeligheten lar seg ikke gjenskapes til perfektjon. Det betyr at slike generaliseringer, som for eksempel i overgangen fra empirisk til universelt variogram, medfører usikkerhet og skal brukes med visshet om dette.

Matematiske utregninger har blitt foretatt både for strukturering av data og for analyse. Datamengden har vært stor. Ved en så stor mengde av operasjoner som er gjort og data som er bearbeidet er selvsagt muligheten tilstede for at det er blitt gjort feil. Gjennomgangen av scriptene og utførelsen av kartkorrelasjonsmetoden har vært nitid og resultatene blir vurdert som troverdige. Det er ikke oppdaget feil ved gjennomføringen av kartkorrelasjonsmetoden.

For samtlige av vannføringsseriene som er brukt i studiet, gjelder det at man ikke kan utelukke feil i data. Målingene gjøres i form av vannstand hvor omregningen til vannføring, via en kartlagt vannføringskurve som beskrevet i kapitlet for data, er en potensielt stor kilde til feil i dette studiet. Spesielt for korte serier, som samtlige av NTE sine serier, kan en vannføringskurve være basert på få vannføringsmålinger og måleseriene kan således være basert på et tynt grunnlag. Disse data er grunnlaget for vurderingen av metodene og feil ved disse har stor påvirkning på resultatene.

All annen data som er brukt i studiet, som høyde-, nedbør- og temperaturdata, har også en usikkerhet som gjør dem til kilder til feil. Som behandlet i datakapitlet er klimadata

modellberegnet og på lik måte som estimeringen av vannføringskorrelasjon lar ikke nedbør og temperatur seg modelleres til perfektjon i forhold til verken målte eller sanne verdier. Dette er små feil og ikke vurdert som utslagsgivende for studiet.

Prosessen med å finne variabelen 'Elvelengde' innehar en betydelig usikkerhet og kilde til feil. I størrelsen elvelengde inngår det en visuell sammenligning av elvenettverk i ArcGIS og NVEs elvedatabase, som ikke lar seg gjøre å få identiske. Ved regnemetoden som er vist for dette studiet, som er basert på at det for hvert felt finnes et visst areal hvis er tilstrekkelig til at avrenningspunktet blir betegnet som bekk eller elv, var det ikke mulig å gjenskape NVE sine elvekart, som er basert på Kartverkets N50-kart. Elvelengde ble dermed bestemt etter en beste tilpasning til NVEs data, med tydelige skilnader i de endelige resultatene. Det er ventet siden det er to vidt forskjellige metoder å definere en bekk eller elv på.

## 7.2 Studiets begrensninger

Studiet er utført for Nord-Trøndelag og resultatene kan ikke overføres direkte til andre steder. Sammenligningen med Zelelew og Alfredsen(2014) tilsier at det er store forskjeller i hydrologiske strukturer og hvilke kovariabler som er hensiktsmessig å inkludere i studiet.

For resultatene av ko-kriging gjelder korrelasjonsprediksjonene kun for feltene som er inkludert i dette studiet og kan ikke brukes generelt for andre felt i studieområdet uten å inkludere deres kovariabler og utføre ko-kriging på nytt. Dette kommer av at det er gjort en estimering av den romlige fordelingen av ko-variabelen som kun vil være gyldig for posisjonene som er inkludert i studiet. Eksempelvis er variabler hvor feltareal inngår romlig interpolert ut fra kjente størrelse. Det gir liten mening å interpolere feltareal over et område. Korrelasjonsprediksjonene fra den ordinære krigingen kan derimot brukes, men med visshet om usikkerhetene som er inkludert i estimeringen. Korrelasjonen mellom studiefeltene og referansefeltene er basert på korte tidsserier og en kan si at resultatene med sikkerhet kun gjelder for den samme perioden som det foreligger data fra NTEs stasjoner.

I metodene som er brukt er det ikke gjort spesielle hensyn til skalering ved store ulikheter i feltareal. I korrelasjonsanalysen er alle felt tatt med for å finne sammenhengen mellom korrelasjon og distanse, og denne brukes som grunnlag for universell kriging. Det er en utfordring ved kartkorrelasjonsmetoden at felt innen hele spekteret av alle feltparametere regnes korrelasjon for, når den videre skal brukes som grunnlag for kriging for et større område. På denne måten blir det som eksempel ikke gjort forskjell på dårlig korrelasjon

som følge av forskjell i feltstørrelser og dårlig korrelasjon på grunn av forskjeller som kan gjøres regionale og bygge korrelasjonsstrukturer.

## 7.3 Kartkorrelasjonsmetoden

Resultatene fra kartkorrelasjonsmetoden viser at den estimerer NTE-feltene dårligere enn den tradisjonelle metoden, på grunn av dårligere valg av skaleringsfelt. Slik den er utført i dette studiet, velges et dårligere felt for skalering i fem av ni tilfeller og like felt for resten av tilfellene. De statistiske goodness of fit-kriteriene, viser entydig at kartkorrelasjonsmetoden estimerer dårligere. Korrelasjonsresultater fra studiet antyder samtidig at den tradisjonelle metoden har forbedringspotensial for flere av studiefeltene, men at kartkorrelasjonsmetoden, slik den er utført, ikke evner å finne de bedre referansefeltene for skalering.

For vurdering av estimeringsresultater er det mest vektlagt goodness of fit-kriteriene, sammen med de visuelle vurderingene. De utregnede verdiene fra varighetskurven viser seg å være usikre estimerer. Spesielt for 5-persentilen er resultatene preget av mye usikkerhet og det er lite sammenheng med de andre kriteriene. Dette kan ha sammenheng med datakvalitet for de laveste vannføringene, med allerede diskutert isproblematikk og upresise vannføringskurver. For fremtidige studier anbefales det å ikke bruke ekstremer fra varighetskurven som kriterier for vurdering av estimerte verdier med relasjon til kraftproduksjon, med grunnlag i usikkerheten av estimatene.

Det er imidlertid felles for fire av feltene som oppnår dårligere resultater, at disse har blitt skalert med felter som har brukt samme kovariabel i ko-kriging. Ekskludering av feltene som har brukt Dd som kovariabel gir forbedrete resultater av kartkorrelasjonsmetoden, både i forhold til de originale resultatene og den tradisjonelle metoden. Analysen av feltene som har brukt Dd som kovariabel forteller mye om kartkorrelasjonsmetoden med ko-kriging, både generelt og spesifikt for dette studiet. Konsekvensene viser seg tydelig å være fundamentale. Estimering av vannføring ved skalering av kun ett felt er sårbart, siden feltene kan vise seg å være så forskjellige som det er sett i dette studiet. Derfor kan feil ko-kriging for kun enkelte felt få store konsekvenser utover hele studieområdet, slik det er vist for dette studiet.

Videre analyse av prediksjonsevnen for både kriging og ko-kriging er gjort for alle feltpar med målt korrelasjon. Den viser at det ikke bare er Dd av kovariablene som reduserer prediksjonsevnen. Kriging uten kovariabler predikerer Kendalls tau bedre enn ko-kriging for dette studiet. Dette tyder på at metoden for ko-kriging, og egenskapene til kryss-variogrammene og variogram-modellen som lages, bør revurderes. Metoden, samt en

kritisk vurdering av kovariabler og deres korrelasjon med primærvariabelen, ser ut til å være essensielt for å oppnå en bedre prediksjon med ko-kriging.

En fordel med kartkorrelasjonsmetoden er at man får kartlagt, for et geografisk område, hydrologiske korrelasjonsstrukturer som det ellers kan være vanskelig å være kjent med. Prediksjonskartene for kriging, med distanse og Kendalls tau mellom alle referansestasjoner som grunnlag, viser tegn til strukturer som tilsier at distanse ikke kan brukes som kriterium for valg av skaleringsfelt. De mest markante trekkene i Nord-Trøndelag er kystfeltenes korrelasjon i sørvest, og de nord-sør-gående mønstrene langs svenskegrensen i den nordlige delen av studieområdet. En av fordelene med en slik kartlegging lar seg lett belyse ved at Ekorndalselvas best korrelerte stasjon, Krinsvatn, er 110 km i sørvestlig retning og er den av referanseseriene som er undersøkt som gir best estimering av Ekorndalselva. Det er tegn i korrelasjonsdata som tyder på at det finnes hydrologiske responsmønstre i Nord-Trøndelag, som kanskje vil lettere la seg avdekke ved større tetthet av målestasjoner, spesielt for mindre felt.

Bruksområdet til studiet er definert som innenfor referansefeltene som er brukt og måler ca. 40 000 km<sup>2</sup>. Det er om lag 70 % større enn det som er brukt i Zelelew og Alfredsen (2014), men resultatene er sammenlignbare. Studiets resultater kan brukes videre for utvidelse av studiet med supplerende data, både med flere referansestasjoner eller topografiske og klimatiske data for flere umålte felt. Det presiseres at resultatene, slik de foreligger fra ko-kriging, ikke kan brukes for nye, umålte felt uten å inkludere deres kovariabler før interpolasjon.

# Kapittel 8

## Konklusjon

Denne oppgaven har presentert og vurdert kartkorrelasjonsmetoden med ko-kriging av flere variabler. Kartkorrelasjonsmetoden er gjennomført for Nord-Trøndelag og det er produsert kart som gir grunnlag for å velge beste skaleringsfelt fra metoden. Metoden er fremstilt stegvis med eksempler av forklaringer, script, kart og resultater for alle operasjoner som tilhører. Basert på et utvalg av korte måleserier fra området er valgene av skaleringsfelt fra kartkorrelasjonsmetoden vurdert og sammenlignet med den tradisjonelle skaleringen.

Korrelasjonene i studieområdet og resultater av estimering fra skalerte referansefelt, støtter funnene i Archfield og Vogel (2010) og Zelelew og Alfredsen (2014) som indikerer at distanse ikke alene kan sees på som et kriterium for valg av skaleringsstasjon. Kartkorrelasjonsmetoden bidrar til en bedre forståelse av avrenning i Nord-Trøndelag. Korrelasjonsstrukturer, som resultat av kriging, avdekker områder som ikke bør vektlegge nærmeste skaleringsfelt ved valg av skaleringsfelt.

Resultatene fra estimering av ni felt i studieområdet viser at kartkorrelasjonsmetoden, slik den er utført for dette studiet, ikke estimerer avrenningen bedre enn den tradisjonelle metoden. Derimot ble det en forverret estimering ved samtlige av feltene som gav ulike felt for skalering ved de ulike metodene. For ordinær kriging med vannføringskorrelasjon som eneste variabel er valgene av skaleringsfelt svært like som for tradisjonell skalering, men i begge tilfellene hvor den valgte ulikt, var det til et dårligere korrelert felt.

Estimering av korrelasjon for studieområdet forverres etter at kovariabler inkluderes. Dette gir store utslag for enkelte felt, som får langt dårligere skaleringsfelt fra multivariabel metode sammenlignet med ordinær kriging. Analysen av kovariablene i studiet gir grunn til å tro at kartkorrelasjonsmetoden, med inkludering av kovariabler, er svært avhengig av at kovariabler som blir inkludert er tilstrekkelig korrelert med primærvariabelen.

## **Anbefaling til videre studier**

Basert på funnene i dette studiet anbefales det å fokusere på følgende i videre studier:

- Feltareal og korrelasjon
- Studere kovariabler og korrelasjon
- Flere målinger av små felt

Det kan være aktuelt å definere en grense for hvor store felt som skal inngå i en korrelasjonsanalyse for små felt. En separat kartkorrelasjonsmetode for små og store felt kan redusere usikkerhet som er betydelig i arealforskjeller og skalering.

Ett nytt sett av kovariabler bør undersøkes for korrelasjon med vannføringskorrelasjonen i området og eventuelt brukes til ny utførelse av ko-kriging. Med andre kovariabler kan metoden forbedres ved ellers lik fremgangsmåte..

Flere vannføringsmålere i små felt vil øke forståelsen av dem og større hydrologiske responsmønstre. Det vil også kunne øke nøyaktigheten i kartkorrelasjonsmetoden og forbedre estimering av umålte felt.

Det anbefales å kombinere videre studier av kartkorrelasjonsmetoden med de bearbeidede data fra dette studiet.



# Bibliografi

Alfredsen, K., 2010. *Oppsummering markvatn*. Trondheim: NTNU.

Archfield, S. & Vogel, R., 2010. Map correlation method: Selection of a reference streamgage to estimate daily streamflow at ungauged catchments. *Water Resources Research*, Volum 46.

Beldring, S., 2012. *Hvordan lages vanndata for seNorge.no?*. [Internett]  
Available at: [http://www.nve.no/Global/senorge/waterdata\\_no.pdf](http://www.nve.no/Global/senorge/waterdata_no.pdf)  
[Funnet 29 November 2013].

Beldring, S., Roald, L. A. & Voksø, A., 2002. *Avrenningskart for Norge*, Oslo: NVE.

BKK Produksjon AS, 2013. *Beinhelleren pumpe - Overføringer til Evanger kraftverk  
Konsekvensutredning Hydrologi*. [Internett]  
Available at:  
<http://www.nve.no/no/Konsesjoner/Konsesjonssaker/Vannkraft/?soknad=6447&type=11>  
[Funnet 17 November 2013].

Bogena, H. R., Huisman, J., Oberdörster, C. & Vereecken, H., 2007. Evaluation of a low-cost soil water content sensor for wireless network applications. *Journal of Hydrology*, 344(1-2), pp. 32-42.

Bohling, G., 2005. *INTRODUCTION TO GEOSTATISTICS and VARIOGRAM ANALYSIS*. [Internett]  
Available at: [people.ku.edu/~gbohling/cpe940/Variograms.pdf](http://people.ku.edu/~gbohling/cpe940/Variograms.pdf)  
[Funnet 23 November 2013].

Castellarin, A., Camorani, G. & Brath, A., 2007. Predicting annual and long-term flow-duration curves in ungauged basins. *Advances in Water Resources*, Volum 30, pp. 937-953.

Dingman, L. D., 2002. *Physical Hydrology*. 2nd red. Illinois: Waveland Press.

ESRI ArcMap 10.0, 2010. *ArcMap ArcView*, s.l.: ESRI.

ESRI, 2011. *Arc Hydro for ArcGIS 10*, s.l.: ESRI.

ESRI, 2013. *ArcHydro: GIS for Water Resources*. [Internett]  
Available at: <http://www.esri.com/library/fliers/pdfs/archydro.pdf>

- Gao, B., McKee, K., Gargiulo, O. & Graham, W., u.d. *Statistical evaluation of hydrologic data in Northeastern Florida and Southern Georgia*, s.l.: s.n.
- Gjestemoen, E., 2013. *Bruk av kartkorrelasjonsmetode for estimering av avrenning fra umålte felt*, Trondheim: NTNU v/IVM.
- Goovaerts, P., 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. s.l.:Oxford University Press.
- Hiemstra, P., 2013. *automap: Automatic interpolation package. R package version 1.0-14*, s.l.: s.n.
- Hilgersom, K. P. & Luxemburg, W. M. J., 2012. Technical Note: How image processing facilitates the rising bubble technique for discharge measurement. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, Issue 16, pp. 345-356.
- Hrachowitz, M. et al., 2013. A decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB). *Hydrological Sciences Journal*, Issue 58.
- Kartverket, 2012. *Terrengmodeller - Land*. [Internett]  
Available at: <http://www.statkart.no/Kart/Kartdata/Terrengmodeller/Terrengmodell-10-meters-grid/>  
[Funnet 2014].
- Legates, D. R. & McCabe Jr, G. J., 1999. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*, 35(1), p. 240.
- Moe, E., 2008. *Hydrologiske data og kvalitet*. [Internett]  
Available at: <http://dok.ebl-kompetanse.no/Foredrag/2008/Hydrologi/Moe.pdf>  
[Funnet 2014].
- NVE, 2009. *Elvis - elvenettverkdatabasen*. [Internett]  
Available at: <http://www.nve.no/no/Vann-og-vassdrag/databaser-og-karttjenester/Elvis---elvenettverkdatabasen/>  
[Funnet May 2014].
- NVE, 2011. *Introduksjon til Hydra II*. s.l.:NVE.
- NVE, u.d. *Detaljoversikten Oversikt over dataperioder i HydraII*. [Internett]  
Available at:  
[http://www.nve.no/Global/Vann%20og%20vassdrag/Databaser%20og%20kart/Dataoversikt/Oversikt\\_dataperioder\\_Hydra\\_II.html](http://www.nve.no/Global/Vann%20og%20vassdrag/Databaser%20og%20kart/Dataoversikt/Oversikt_dataperioder_Hydra_II.html)
- NVE, u.d. *LAVVANN*, s.l.: NVE.

- NVE, u.d. *Stasjonsinformasjon, geografisk nøkkelinformasjon*. [Internett]  
Available at:  
[http://www.nve.no/Global/Vann%20og%20vassdrag/Databaser%20og%20kart/Dataoversikt/Geografisk\\_informasjon\\_om\\_stasjon.html](http://www.nve.no/Global/Vann%20og%20vassdrag/Databaser%20og%20kart/Dataoversikt/Geografisk_informasjon_om_stasjon.html)  
[Funnet 2013].
- Pebesma, E. & Graeler, B., 2014. *gstat: spatial and spatio-temporal geostatistical modelling, prediction and simulation*, s.l.: s.n.
- Petterson, L.-E., 2004. *Aktive vannføringsstasjoner i Norge*, s.l.: NVE.
- R Core Team, 2013. *R: A language and environment for statistical computing*, Wien: R Foundation for Statistical Computing.
- Ribeiro Jr., P. J. & Diggle, P. J., 2013. *geoR: Analysis of geostatistical data. R package version 1.7-4*, s.l.: s.n.
- RStudio, 2012. *RStudio: Integrated development for R*, Boston: s.n.
- Seibert, J., Bishop, K., Rodhe, A. & McDonnell, J. J., 2003. Groundwater dynamics along a hillslope: A test of the steady state hypothesis. *Water Resources Research*, 39(1).
- Sivapalan, M., Takeuchi, K. & Franks, S., 2003. IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 2003-2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences. *Hydrological Sciences Journal*, Issue 48.
- Skøien, J. O. & Blöschl, G., 2007. Spatiotemporal topological kriging of runoff time series. *Water Resources Research*, 43(9).
- Småkraft AS, 2013. *Dalaåna Kraftverk Nordåna Kraftverk Søknad om konsesjon*. [Internett]  
Available at: <http://skjema.nve.no/NVE-saksdokument/200704717-14-1384444.pdf>  
[Funnet 29 November 2013].
- Tao, P.-c., Yevjevich, V. & Kottogoda, N., 1976. *DISTRIBUTIONS OF HYDROLOGIC INDEPENDENT STOCHASTIC COMPONENTS*. [Internett]  
Available at:  
[http://digitool.library.colostate.edu///exlibris/dtl/d3\\_1/apache\\_media/L2V4bGlicmlzL2R0bC9kM18xL2FwYWNoZV9tZWRpYS8xNTQ3NjQ=.pdf](http://digitool.library.colostate.edu///exlibris/dtl/d3_1/apache_media/L2V4bGlicmlzL2R0bC9kM18xL2FwYWNoZV9tZWRpYS8xNTQ3NjQ=.pdf)  
[Funnet 2014].
- Tauro, F., Grimaldi, S., Petroselli, A. & Porfiri, M., 2012. Fluorescent particle tracers for surface flow measurements: A proof of concept in a natural stream. *Water Resources Research*, Volum 48.

Trubilowicz, J., Cai, K. & Weiler, M., 2009. Viability of motes for hydrological measurement. *Water Resources Research*, 45(4).

Væringstad, T., 2008. *Hvordan beregnes hydrologisk grunnlag for småkraftprosjekter?*. [Internett]

Available at: <http://dok.ebl-kompetanse.no/Foredrag/2008/Hydrologi/Vaeringstad.pdf>  
[Funnet 29 November 2013].

Væringstad, T., 2010. *Hydrologi Ressursgrunnlaget for små kraftverk*. [Internett]

Available at:

<http://www.nve.no/PageFiles/9689/Hydrologiske%20beregninger%20sm%C3%A5kraftverk%20-%20Haugesund.pdf>

[Funnet 2014].

Væringstad, T. & Hisdal, H., 2005. *Estimering av alminnelig lavvannføring i umålte felt*, Oslo: NVE.

Zeilew, M. B. & Alfredsen, K., 2014. Use of Cokriging and Map Correlation to Study Hydrological Response Patterns and Select Reference Stream Gauges for Ungauged Catchments. *Journal of Hydrological Engineering*, 19(2).

# **VEDLEGG**



# **Vedlegg A**

## **Oppgavebeskrivelse**

**NTNU**  
**NORGES TEKNISK NATURVITENSKAPLIGE UNIVERSITET**  
**Institutt for Vann- og miljøteknikk**

Masteroppgåve i vassdragsteknikk

Kandidat: **Erlend Gjestemoen**

Tema: **Estimering av avrenning i umålte felt ved bruk av kartkorrelasjonsmetoda.**

### **9.1.1 1. Bakgrunn**

Etablering av avrenningsseriar frå umålte felt er ei utfordring i hydrologisk analyse og ved bruk av hydrologiske data til planlegging og utforming av anlegg i vassdrag. I Norge kjem dette spesielt fram ved planlegging av småkraftverk, som ofte vert bygde i små vassdrag der det er lite eller ingen data tilgjengelig. Gjeldande praksis er å bruke data frå nærliggande stasjonar og skalere desse til feltet ein jobbar i, men dette kan vere usikkert med tanke på feltstorleik, plassering, høgdefordeling og klimatiske tilhøve. Det er gjort eit arbeid både internasjonalt og nasjonalt for å forbedre metodene for å finne avrenning frå umålte felt. Ein av desse er kartkorrelasjonsmetoda som freistar å finne ein optimal skaleringsstasjon utifrå plassering og hydroklimatiske kovariable. Denne metoda er nøyare gjennomgått i prosjektoppgåva hausten 2013 og data er klargjort for denne metoda.

Føremålet med denne oppgåva er å ta utgangspunkt i data samla i prosjektoppgåva og så køyre kartkorrelasjonsmetoda for Nord-Trøndelag. Dett vil gi kart som vi kan bruke til å finne den beste skaleringsstasjonen for eit umålt felt. Vidare skal bruken av metoda testast mot ein del nedbørfelt der NTE har samla inn korte dataseriar. Desse kan brukast til å evaluere kor godt skalert tilsig basert på kartkorrelasjonsmetoda blir for dei ulike felta.

### **9.1.2 2. Arbeidsoppgåver**

Oppgåva vil ha følgjande hovuddelar:

1. Gjennomføre kartkorrelasjonsmetoda for Nord-Trøndelag med kovariable slik som det er gjort greie for i prosjektoppgåva. Basert på dette skal det lagast eit sett med kart som gir grunn for å velge skaleringsstasjon for umålte felt.
2. For dei felta som NTE har data for skal det skalerast ein tilsigsseriar til feltet basert på resultat frå 1). Desse skal så samanliknast med den målte serien og det skal vurderast kor godt hydrogramma passar over eins. Det må settast opp eit sett med kriterier for å samanlikne hydrogramma. Vidare skal middelvassføring, varighetskurver og lavvannsverdiar vurderast sidan desse er sentrale i planlegging av småkraft.



3. Det skal gjerast ei standard skalering frå næraste felt for eit utval av dei umålte felte og desse skal samanliknast med skaleringa gjort ved hjelp av kartkorrelasjon. Utifrå dette skal det vurderast om det er ein gevinst ved bruk av kartkorrelasjon i denne samanhengen.
4. Kart og data frå 1) skal samanstillast på ein slik måte at dette kan fungere for eit verkty for andre som ønskjer å bruke metoda. Det må lagast ei bruksanvisning for korleis ein går fram om ein ønskjer å bruke denne metoda til å finne avrenninga frå eit nytt felt.

### **9.1.3 3. Rettleiing, data og informasjon**

Faglærer vert professor Knut Alfredsen ved institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU. Mulugeta Zelelew som laga koda som skal brukast vil kunne svare på spørsmål om oppsett og køyring av desse. Kandidaten er elles ansvarleg for innsamling, kontroll og bruk av data. Hjelp frå ovannemnde eller andre må refererast i rapporten.

### **9.1.4 4. Rapport**

Struktur og oppsett av rapporten er viktig. Gå utifrå at det målgruppa er teknisk personell på seniornivå. Rapporten skal innehalde eit samandrag som gir lesaren informasjon om bakgrunn, framgangsmåte og hovudresultata. Rapporten skal ha innhaldsliste og referanseliste. Referanselista skal vere formatert etter ein eksisterande standard.

Denne oppgåveteksta skal vere inkludert i rapporten.

Data som er samla inn skal dokumenterast og leverast på digital form.

Denne oppgåveteksta skal vere inkludert i rapporten.

Formatet på rapporten skal følgje standarden ved NTNU. Alle figurar, kart og bilete som er inkludert i rapporten skal vere av god kvalitet.

Kandidaten skal inkludere ei signert fråsegn som seier at arbeidet som er presentert er eins eige, og at alle bidrag frå andre kjelder er identifiserte gjennom referansar eller på andre måtar.

**Frist for innlevering er 9. juni 2013.**

Institutt for vann og miljøteknikk, NTNU

Knut Alfredsen  
Professor

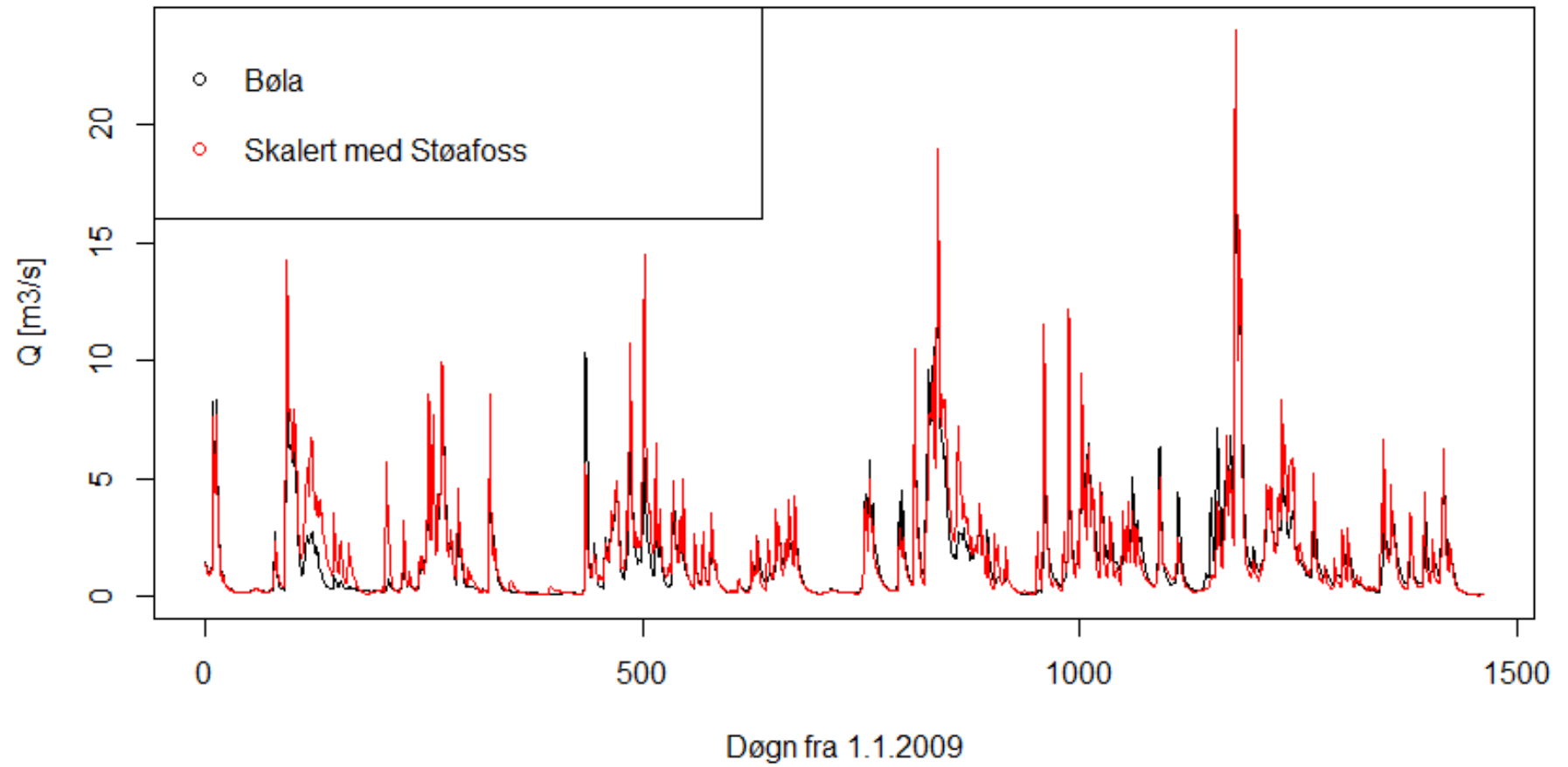


# **Vedlegg B**

## **Komplette hydrogram**

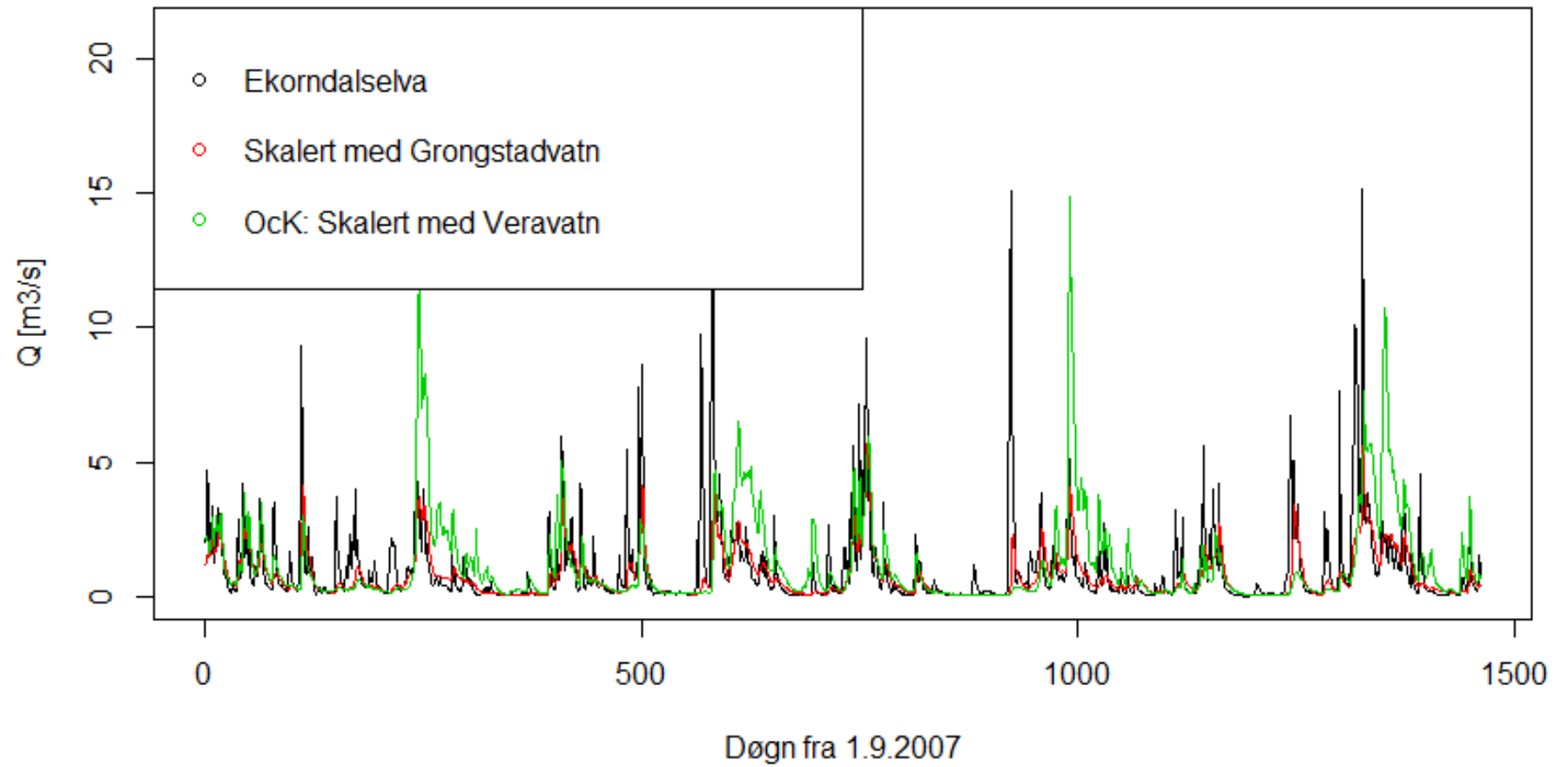
**Dette vedlegget viser komplette hydrogram for studiefeltene i alfabetisk rekkefølge med vannføringsdata. De er ikke inkludert i rapporten på grunn av leselighet.**

## Bøla



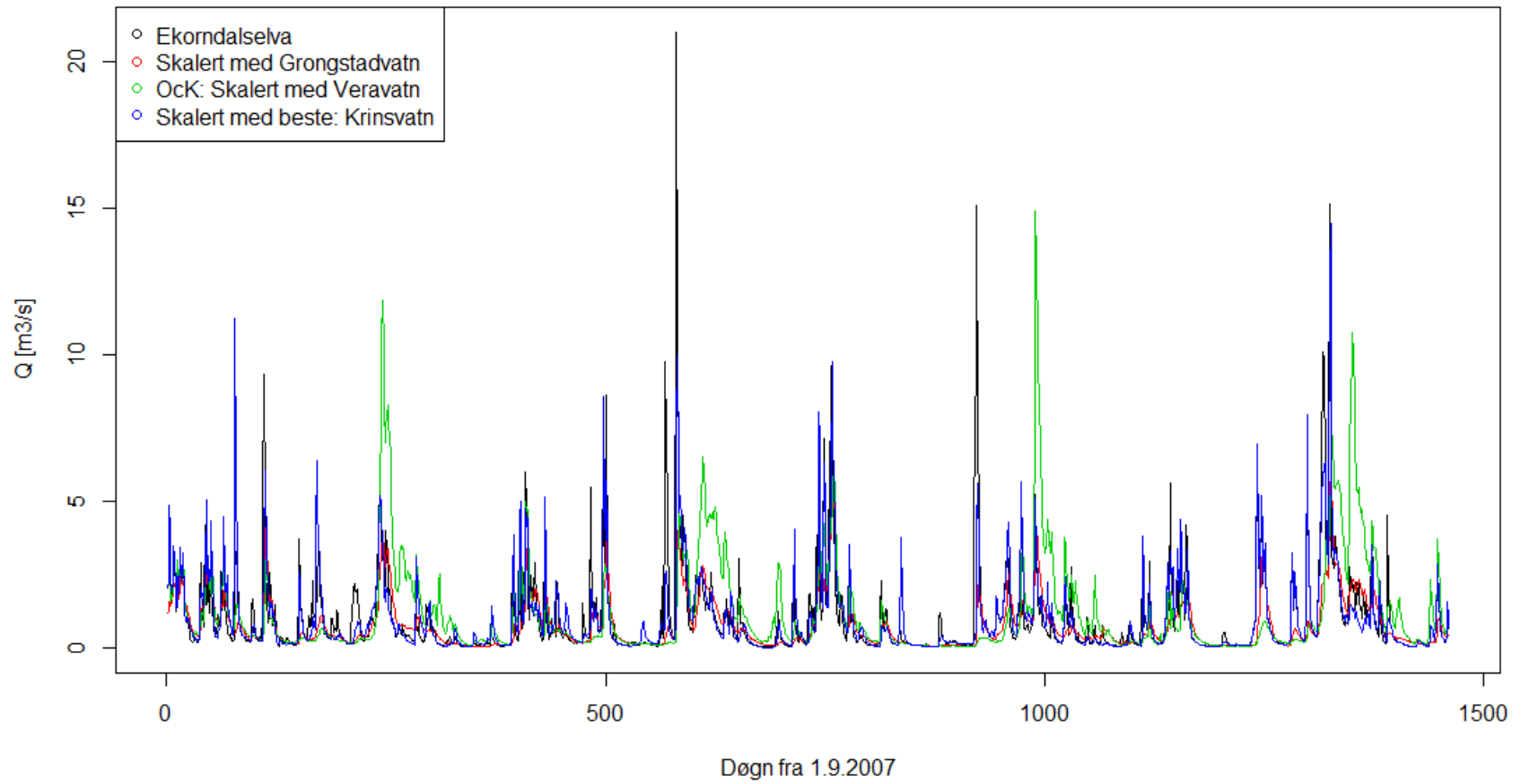
**Figur B.1: Komplet hydrogram for Bøla**

## Ekorndalselva



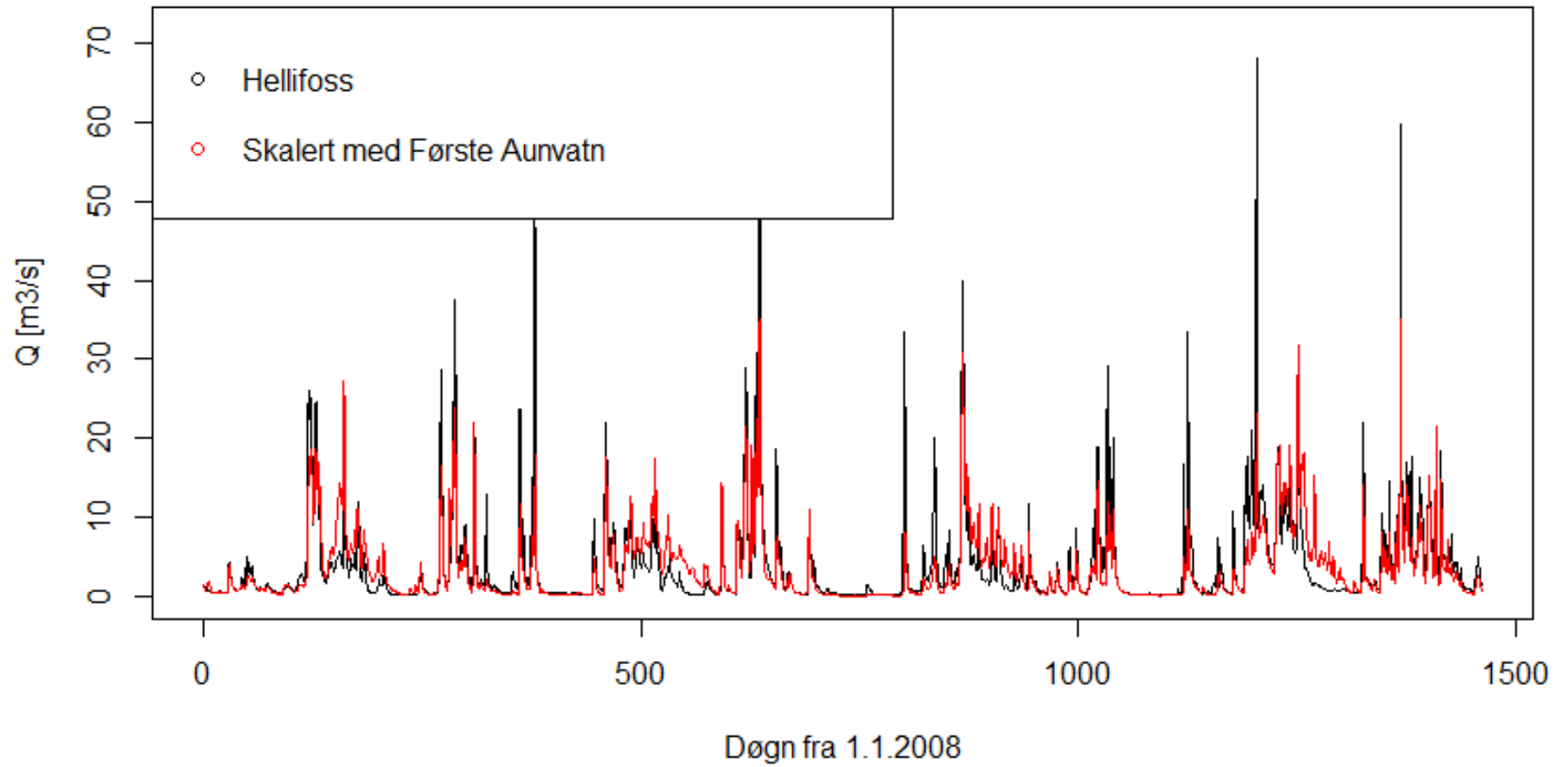
**Figur B.2: Komplet hydrogram for Ekorndalselva**

### Ekorndalselva



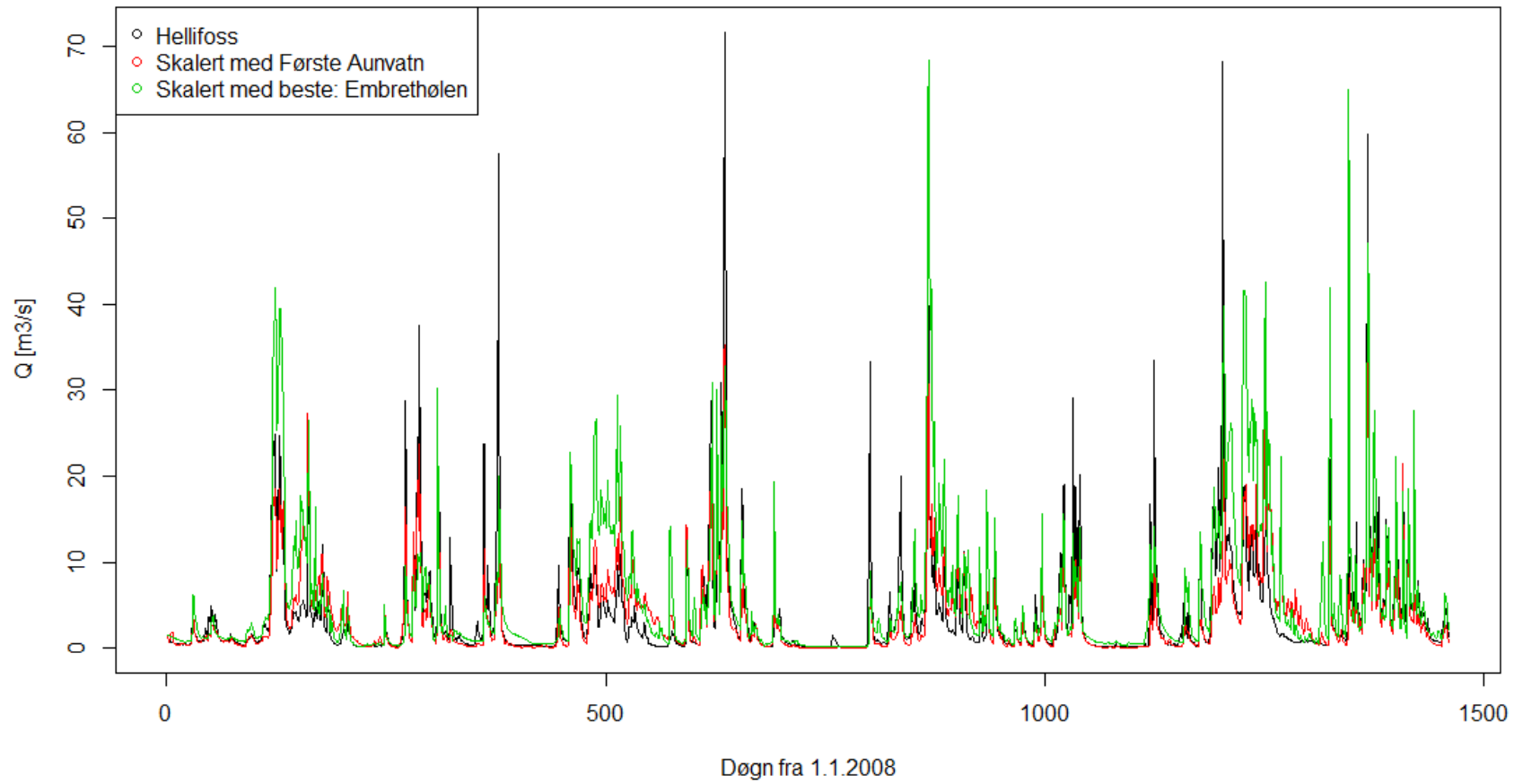
**Figur B.3: Komplet hydrogram for Ekorndalselva med beste korrelerte felt**

## Hellifoss



Figur B.4: Komplet hydrogram for Hellifoss

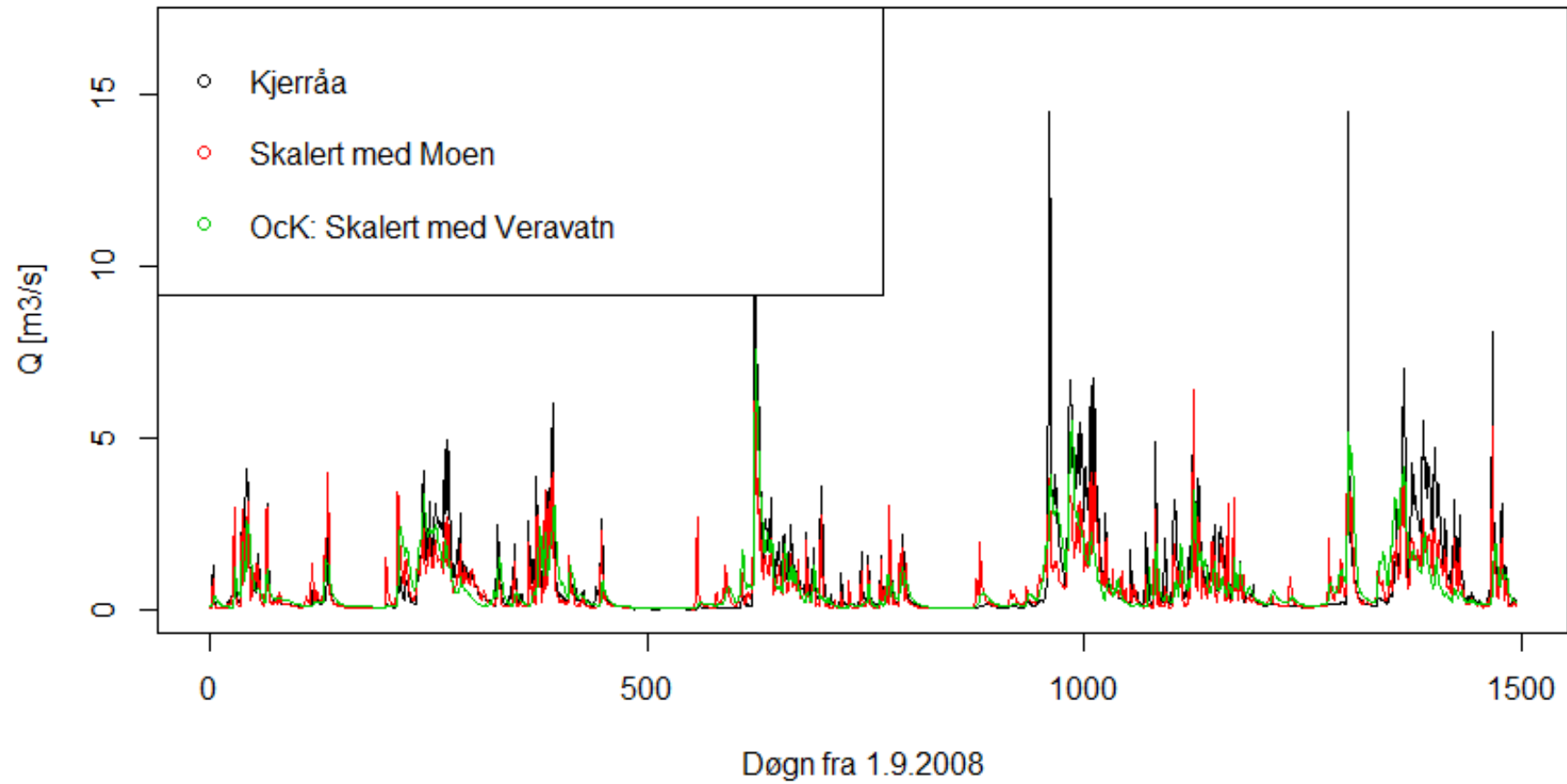
### Hellifoss



**Figur B.5: Komplet hydrogram for Hellifoss med beste korrelerte felt**

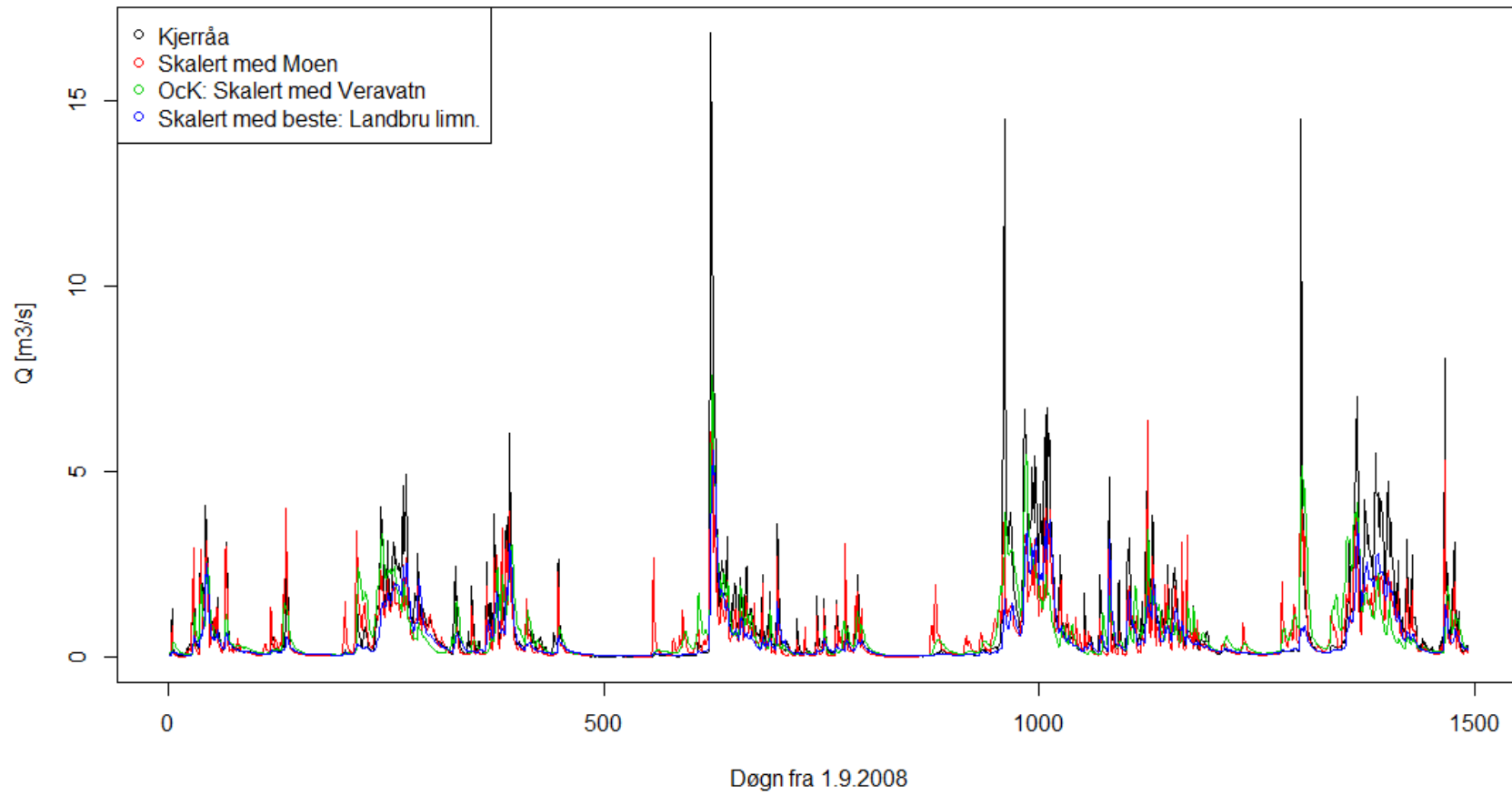


## Kjerråa



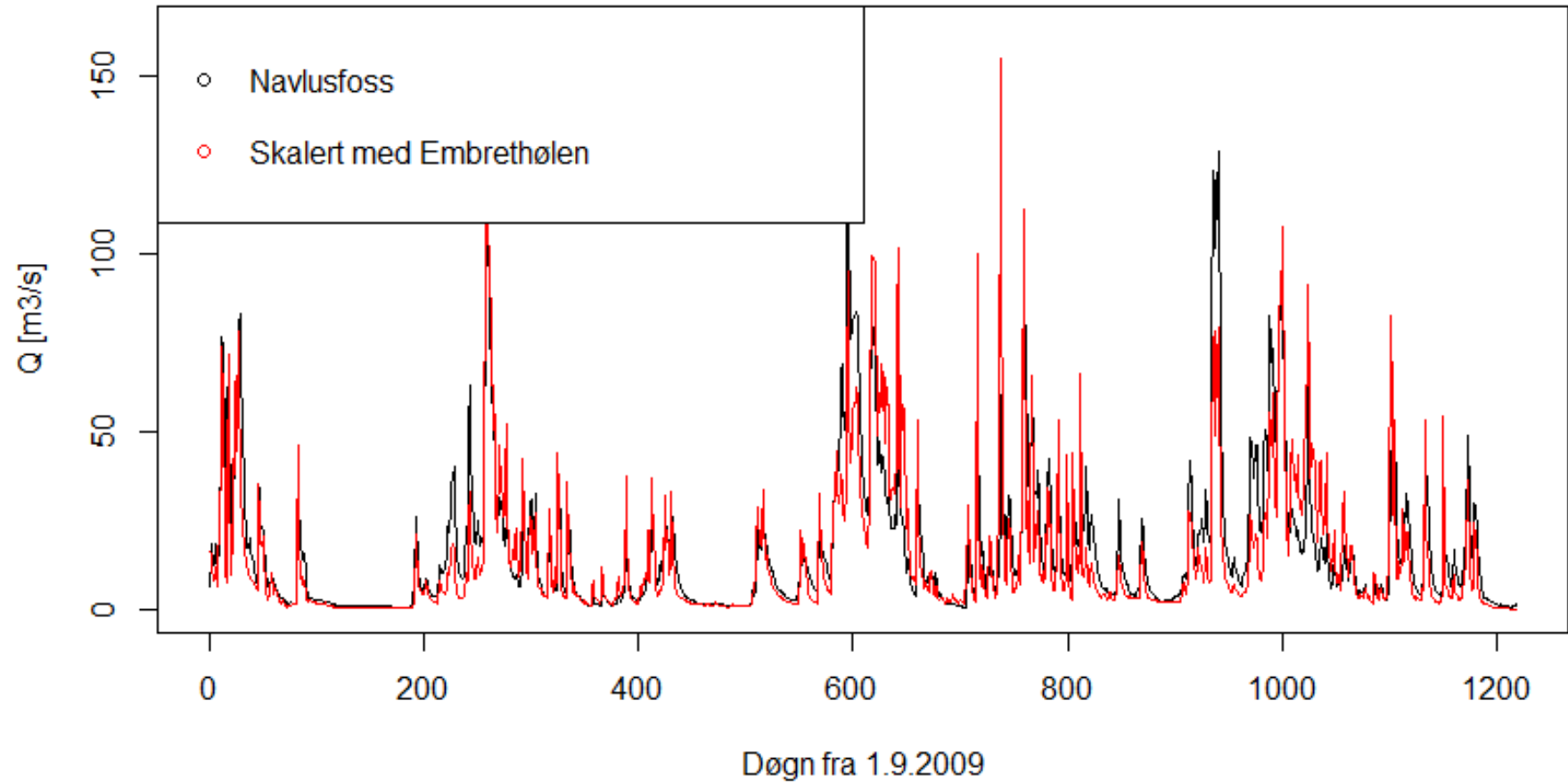
Figur B.6: Komplet hydrogram for Kjerråa

## Kjerråa



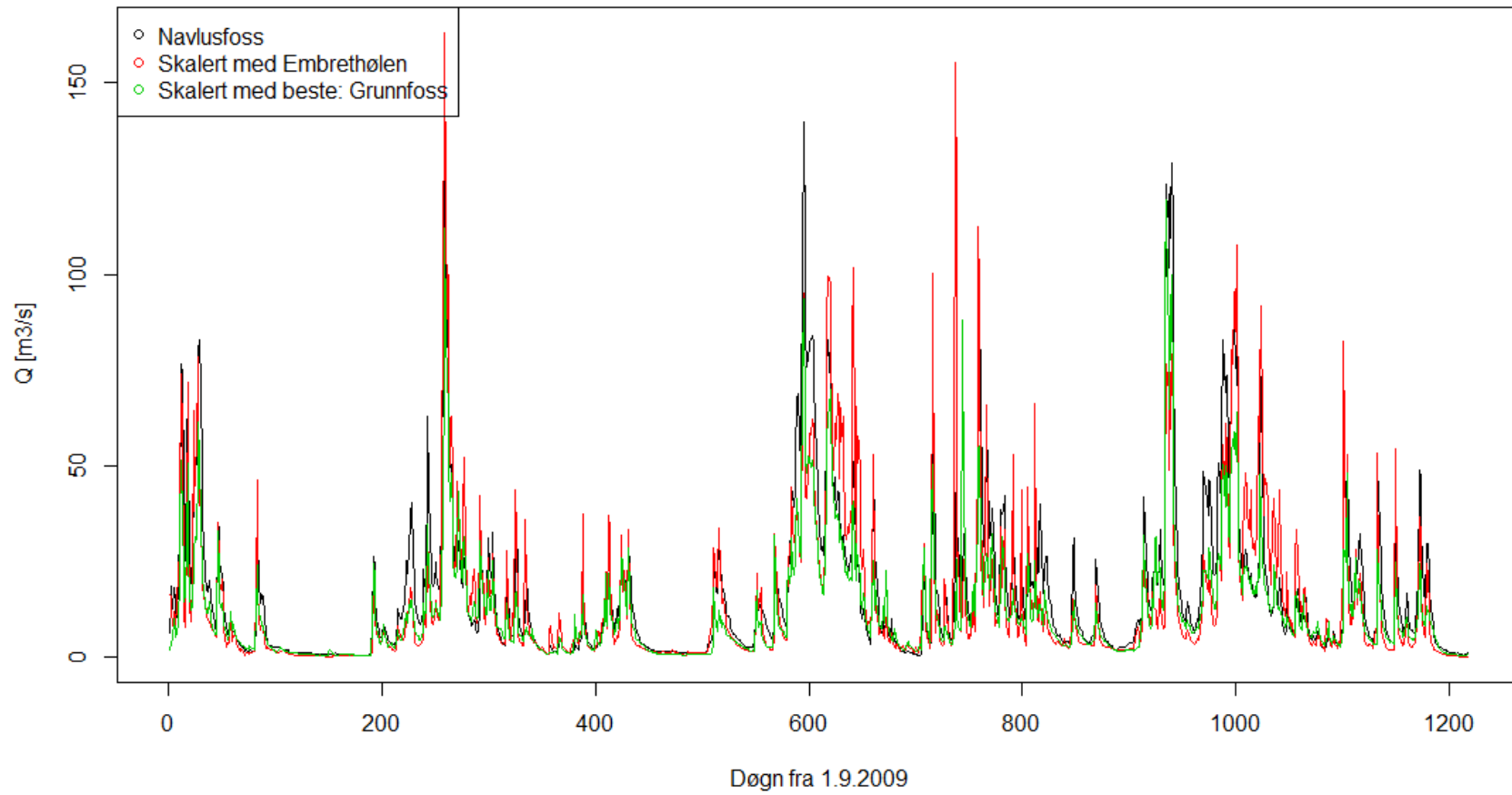
**Figur B.7: Komplet hydrogram for Kjerråa med beste korrelerte felt**

## Navlusfoss



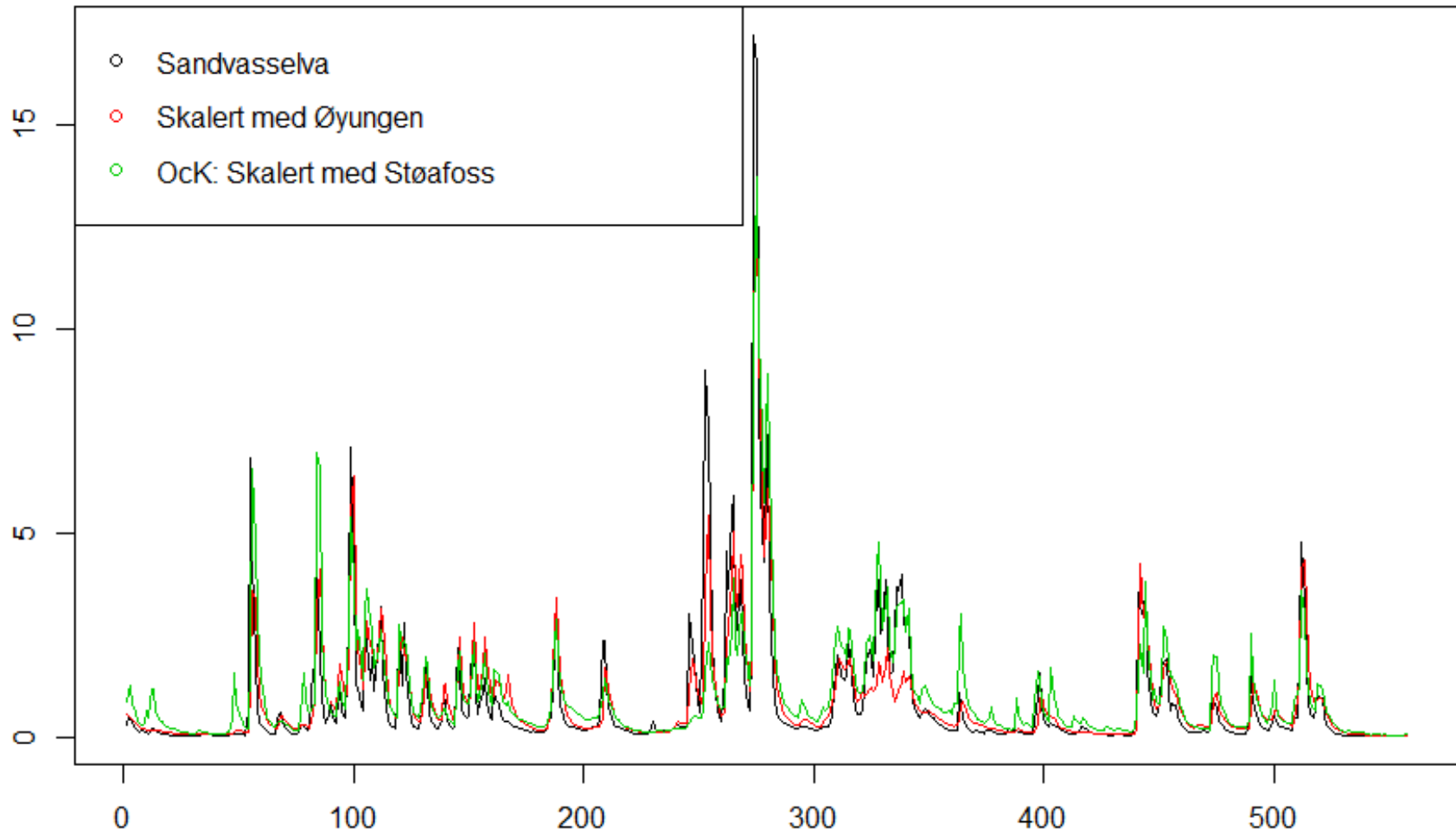
**Figur B.8: Komplet hydrogram for Navlusfoss**

### Navlusfoss



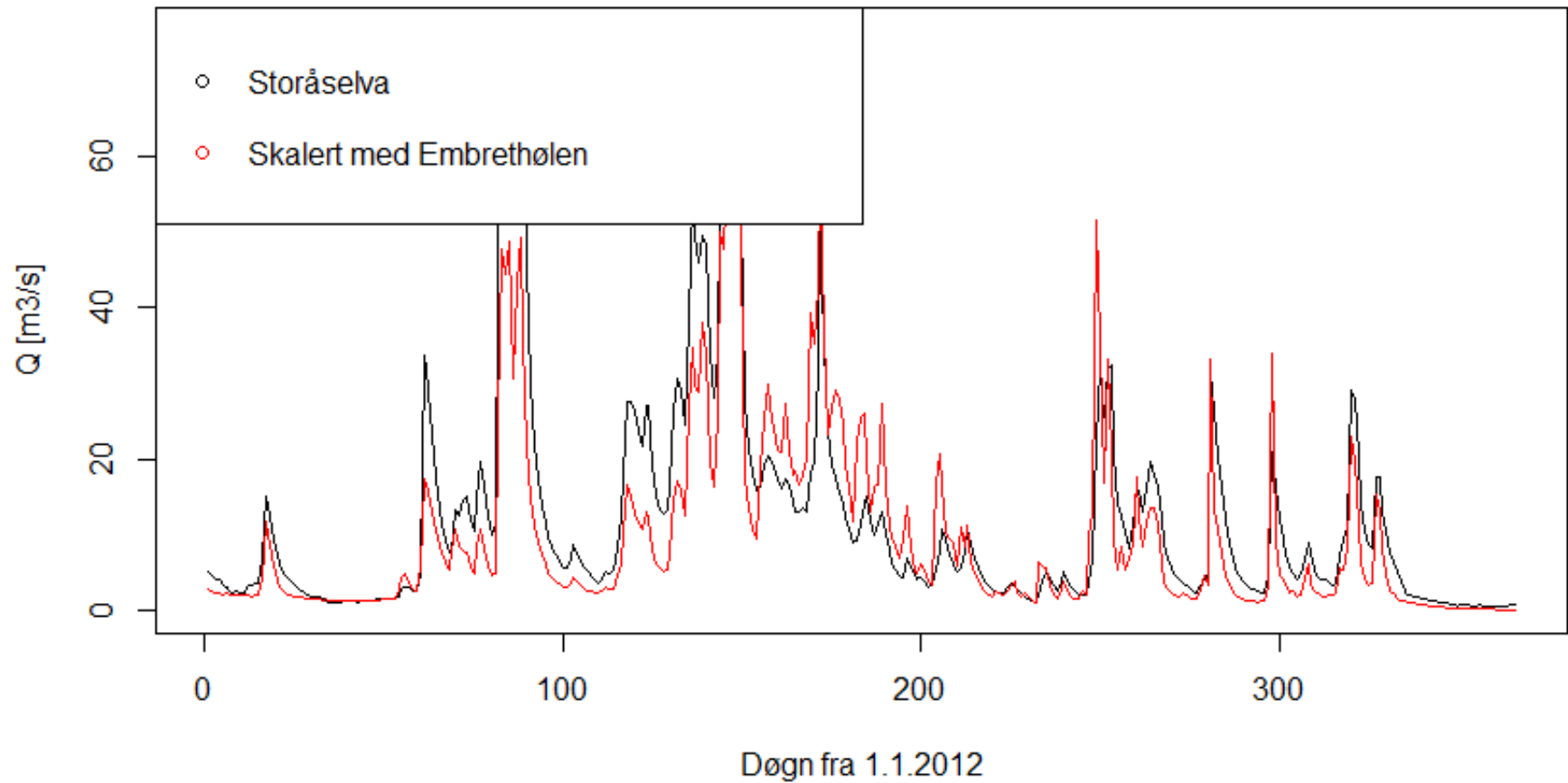
**Figur B.9: Komplet hydrogram for Navlusfoss med beste korrelerte felt**

### Sandvasselva



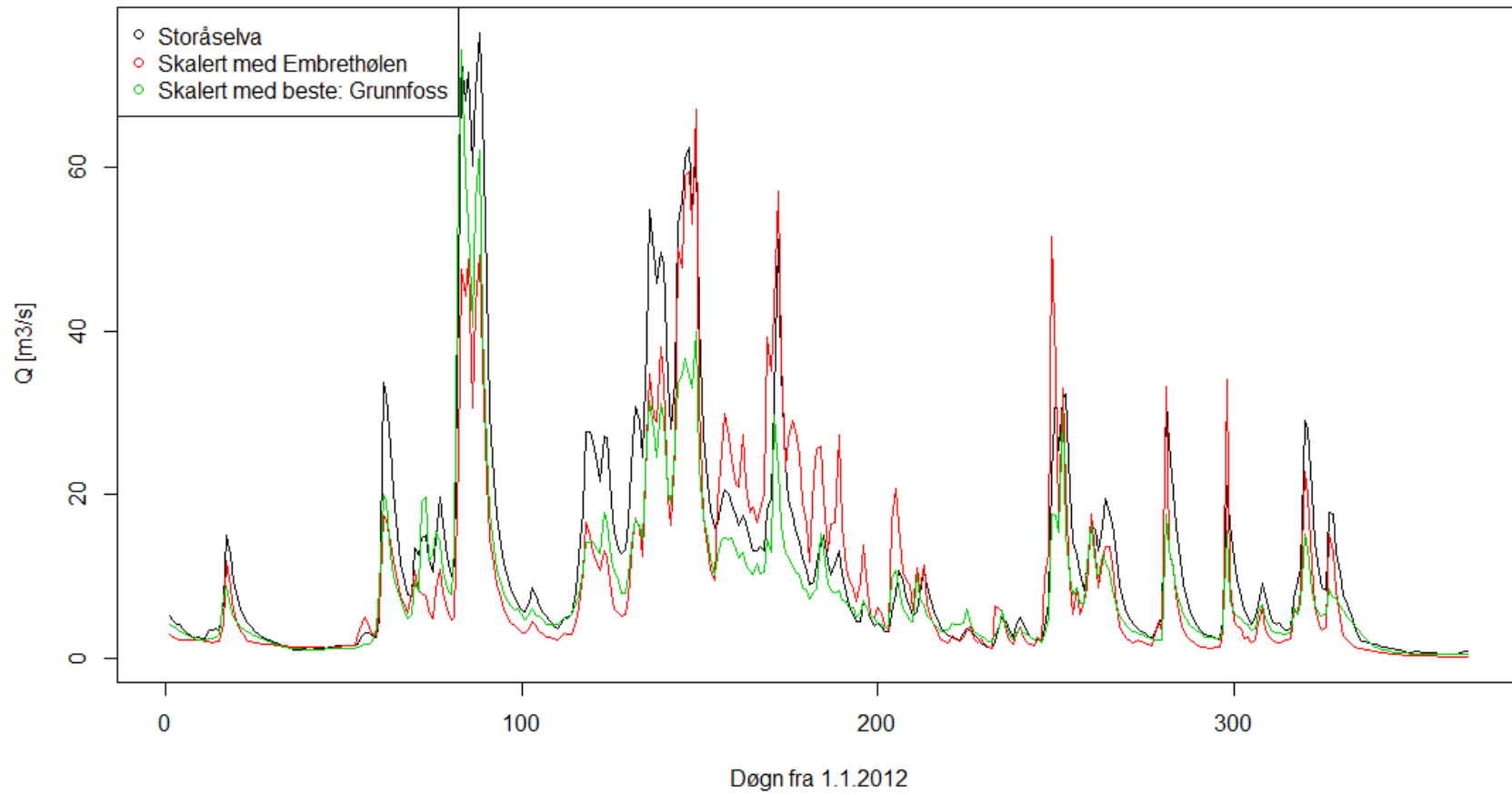
Figur B.10: Komplet hydrogram Sandvasselva

## Storåselva



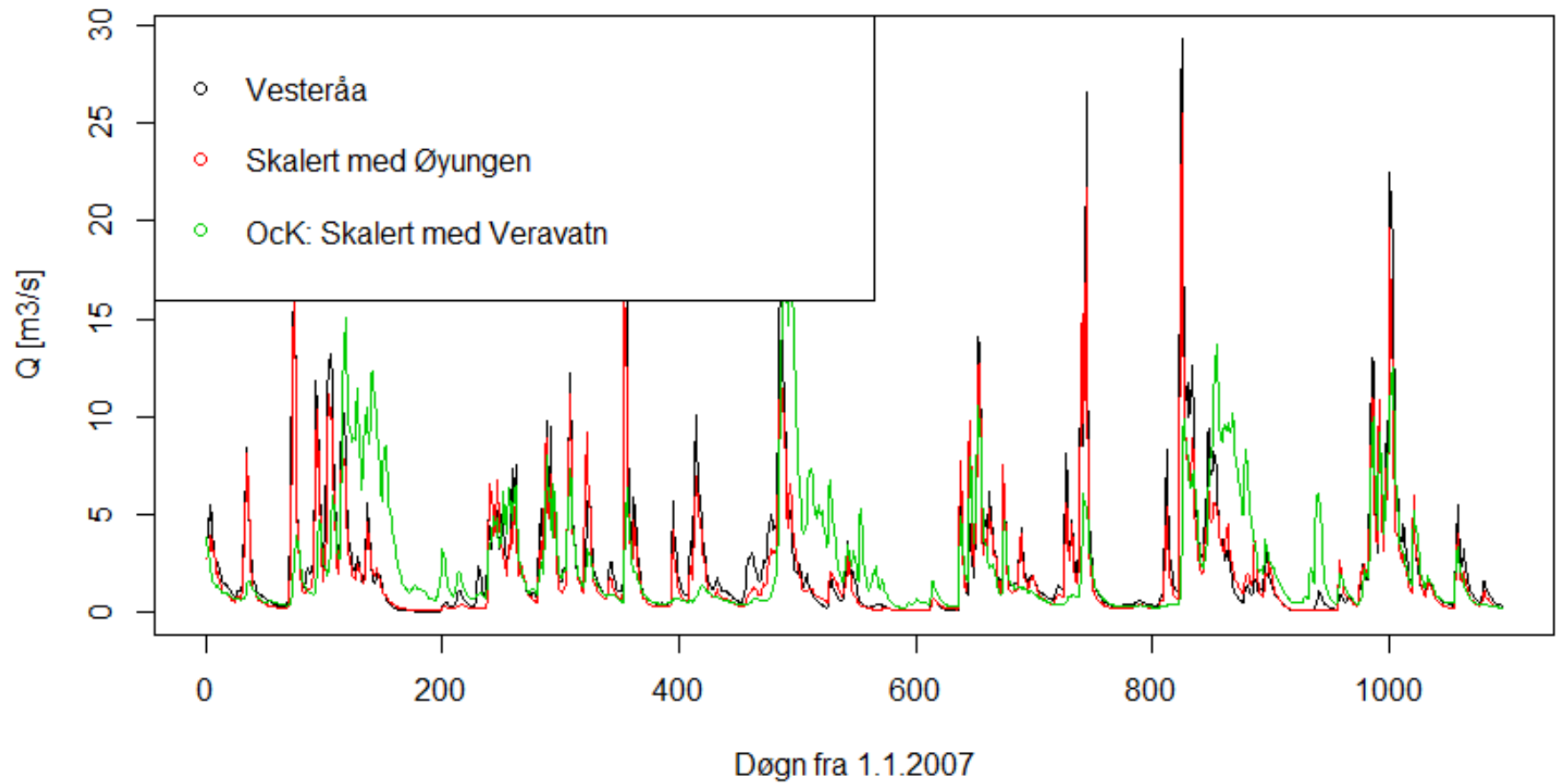
**Figur B.11: Komplet hydrogram for Storåselva**

### Storåselva



**Figur B.12: Komplet hydrogram for Storåselva med beste korrelerte felt**

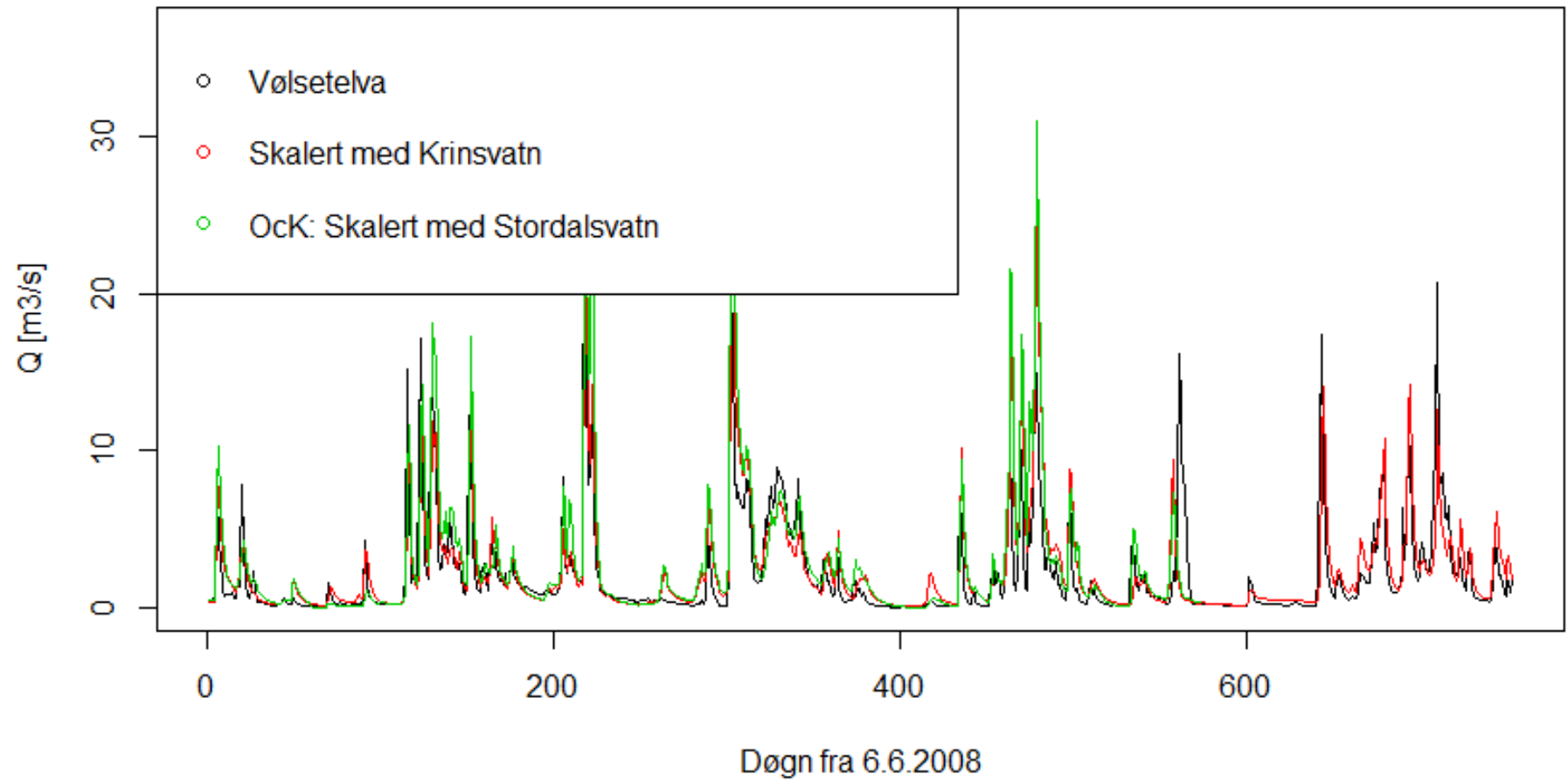
## Vesteråa



**Figur B.13: Komplet hydrogram for Vesteråa**



## Vølsetelva



**Figur B.14: Komplet hydrogram for Vølsetelva**



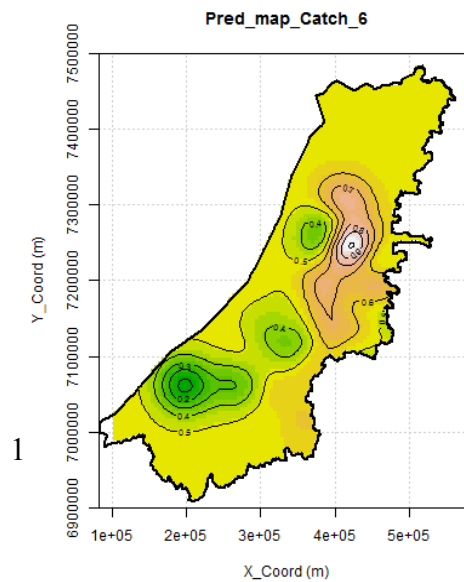
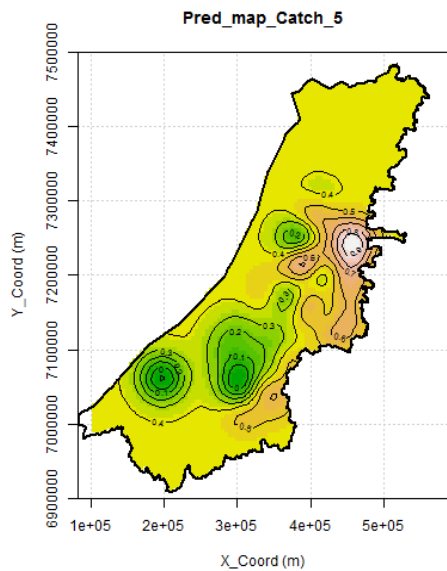
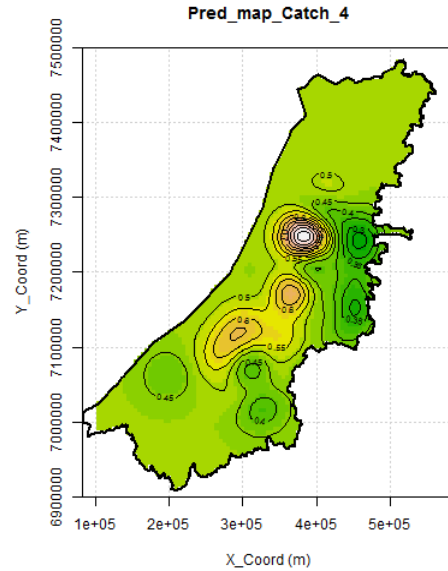
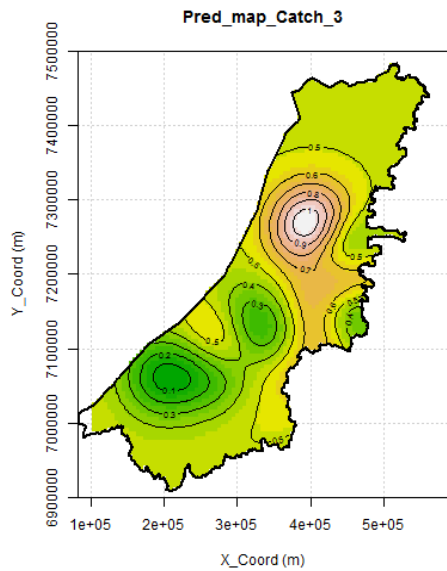
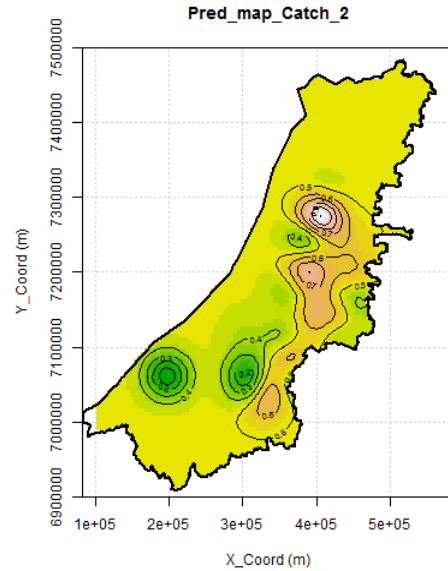
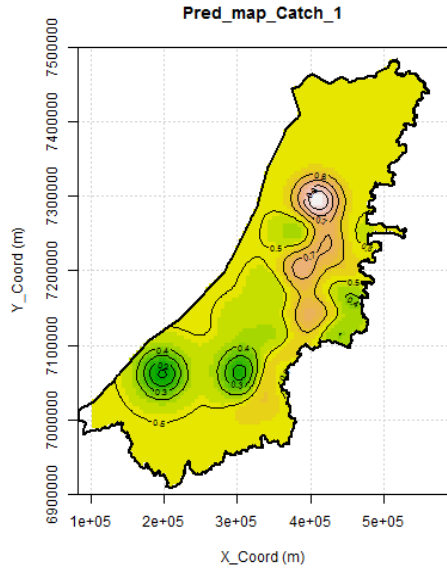
# Vedlegg C

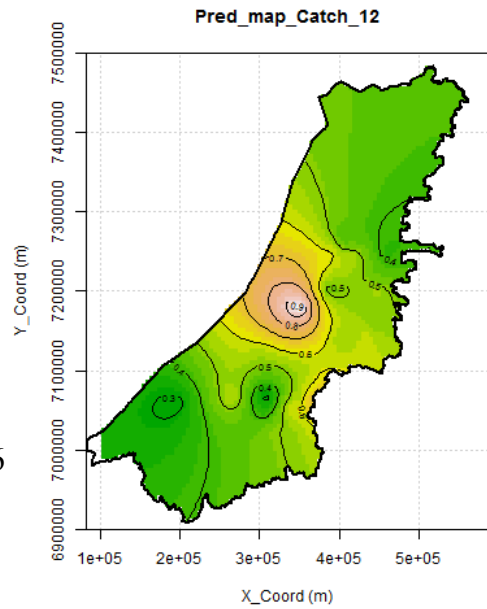
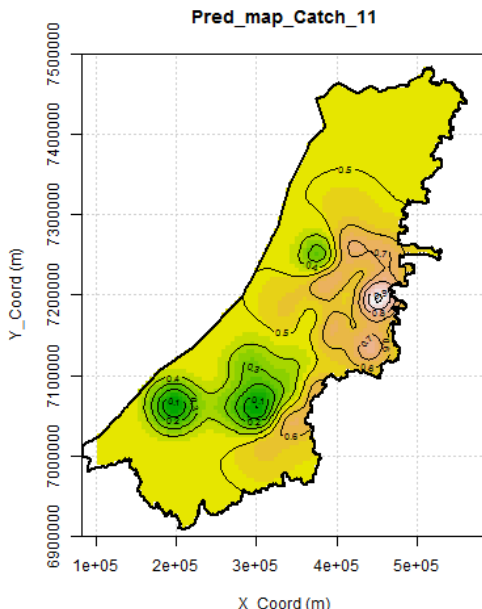
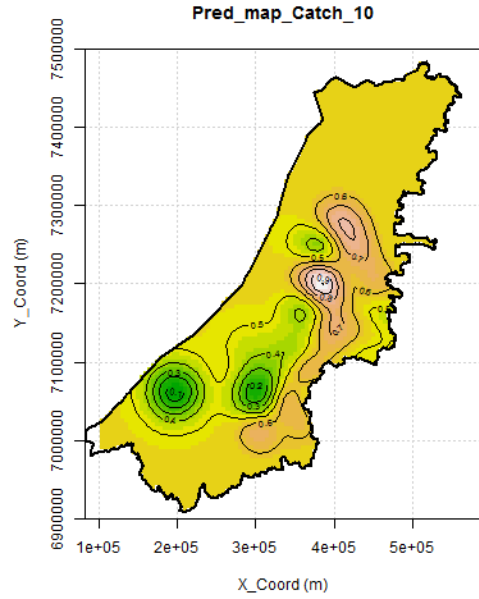
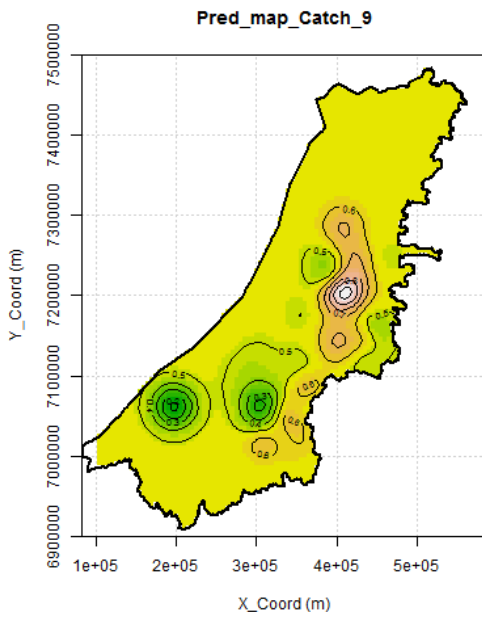
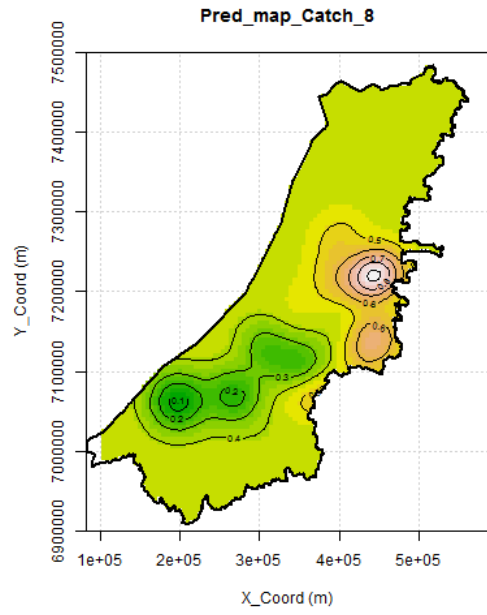
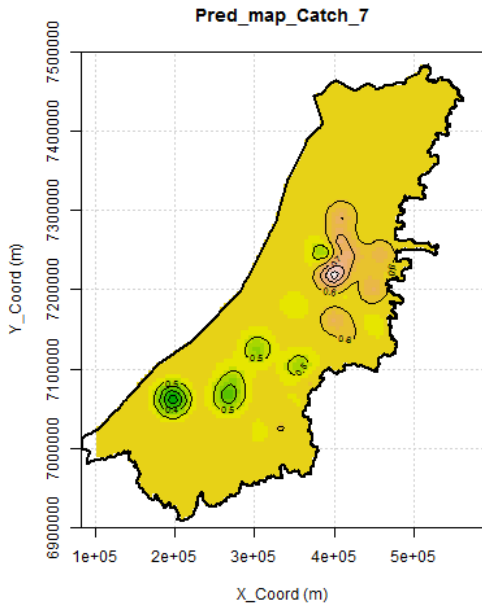
## Prediksjonskart

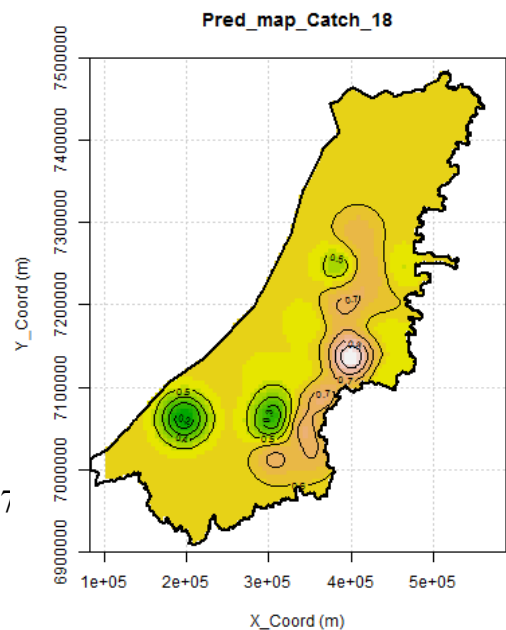
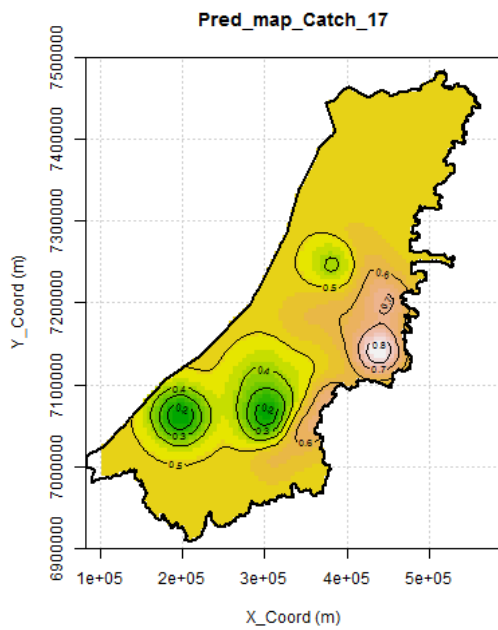
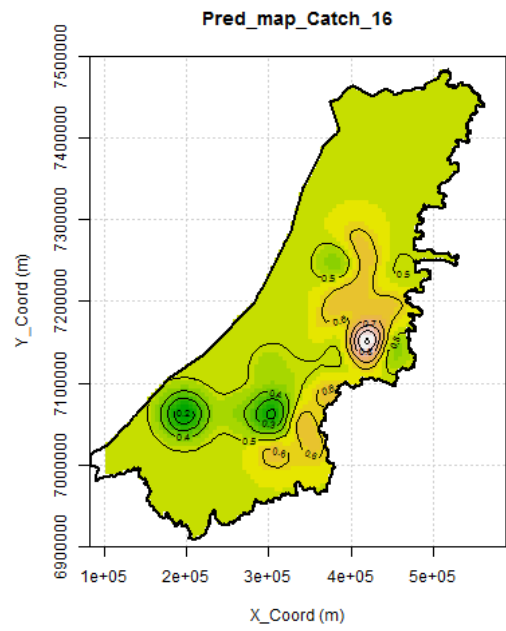
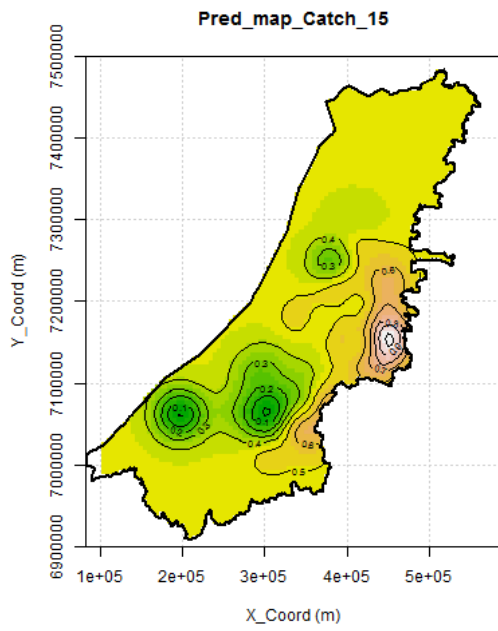
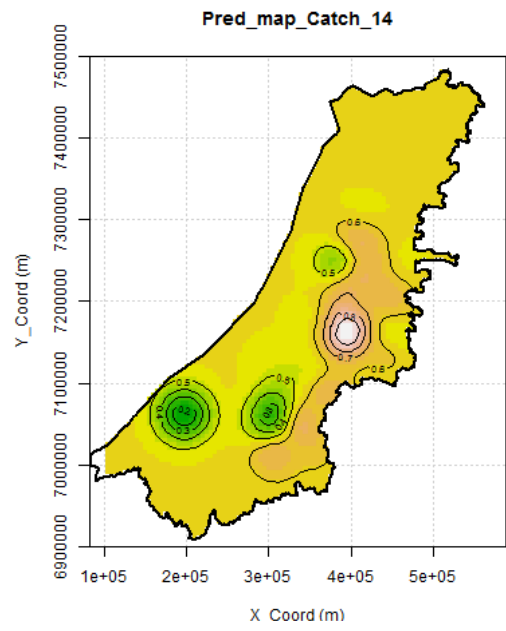
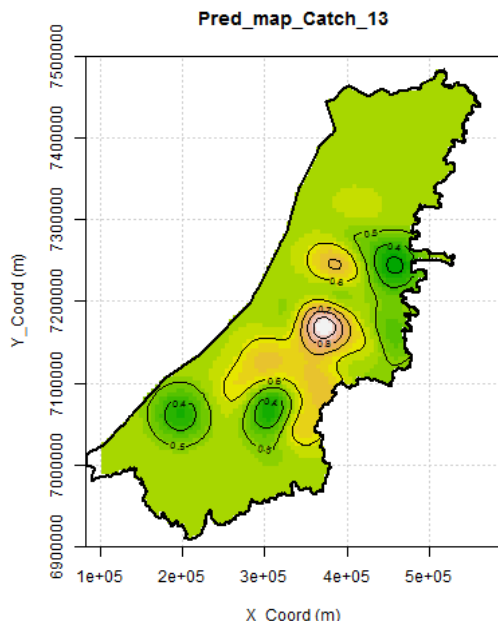
Dette vedlegget viser kartene som er produsert for korrelasjonsprediksjon over området for ordinær kriging og ko-ordinær kriging

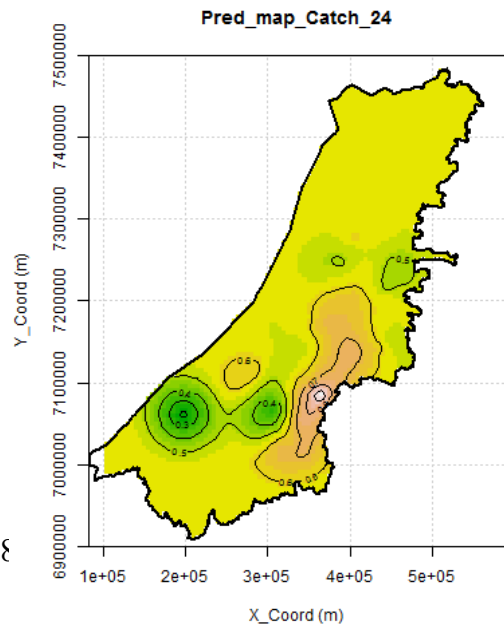
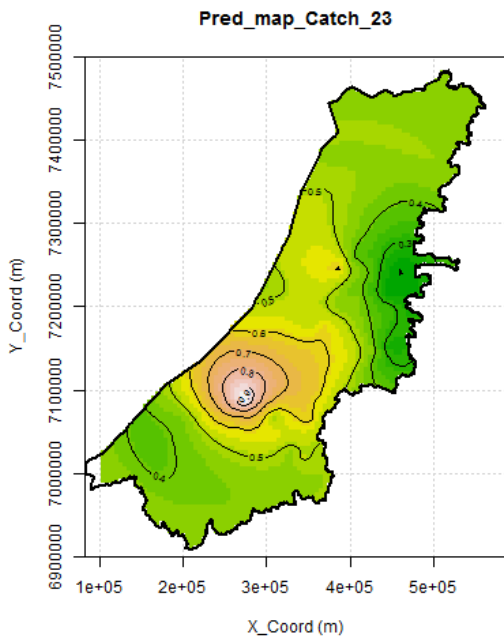
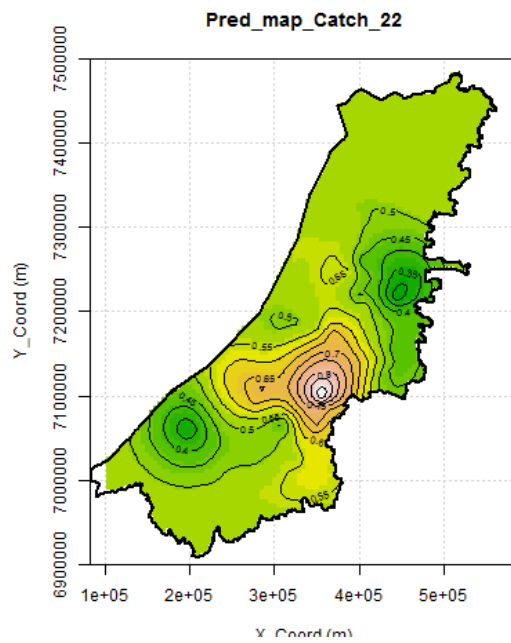
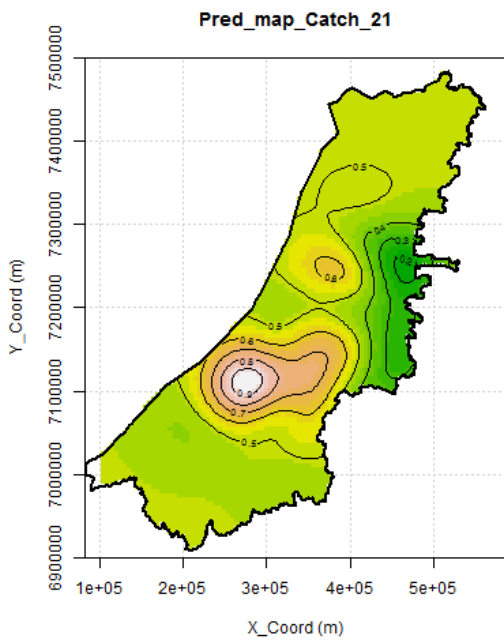
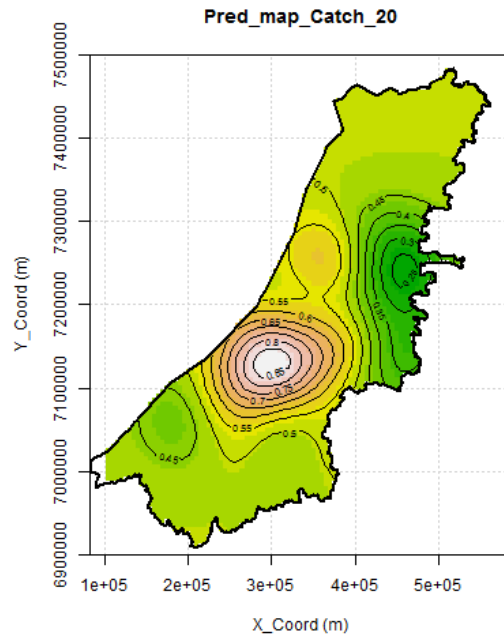
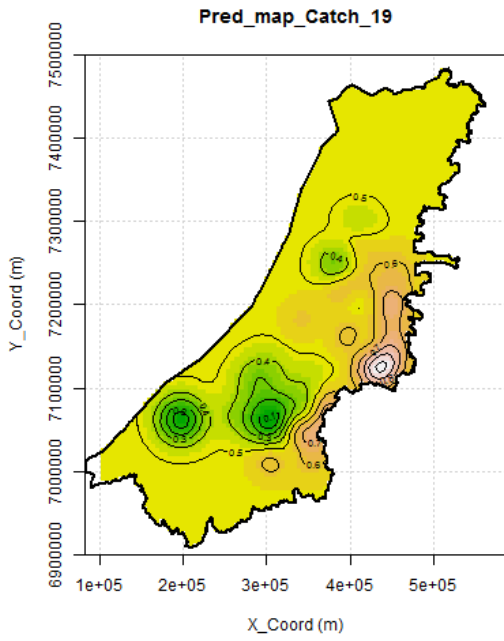


# Vedlegg C.1: Prediksjonskart for ordinær kriging

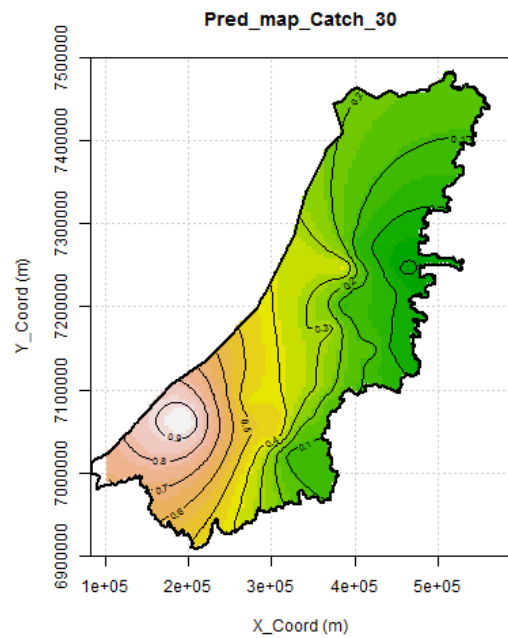
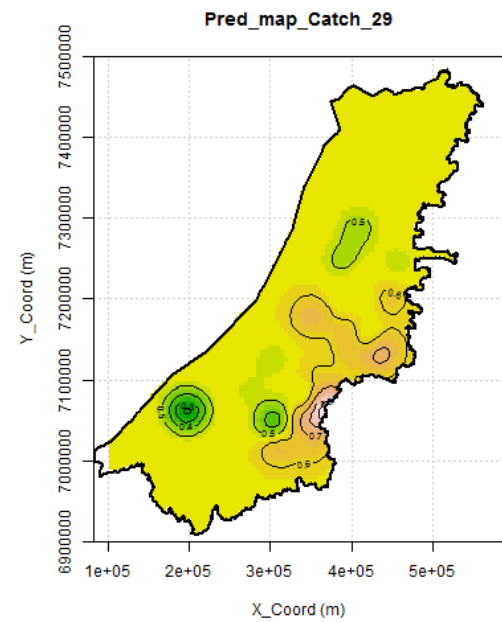
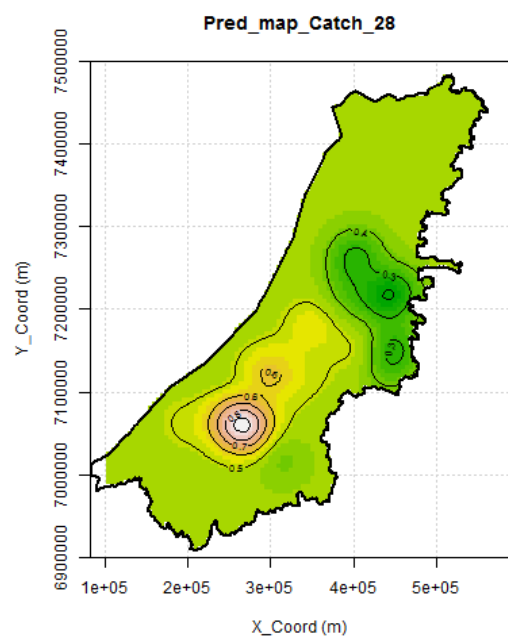
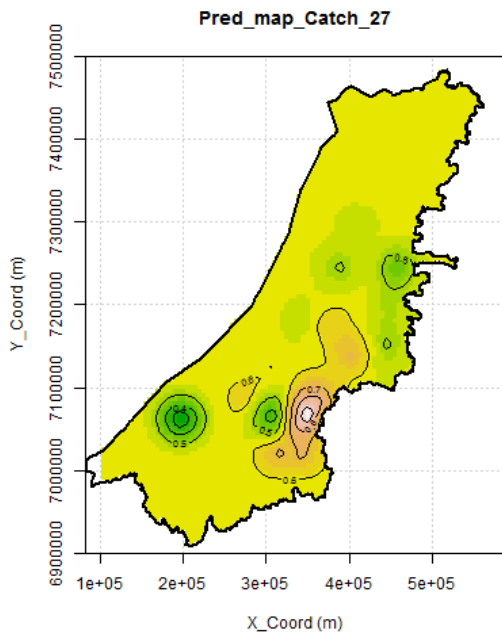
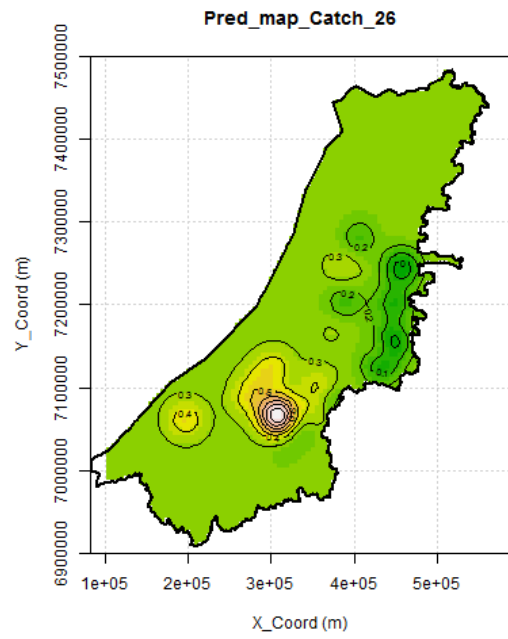
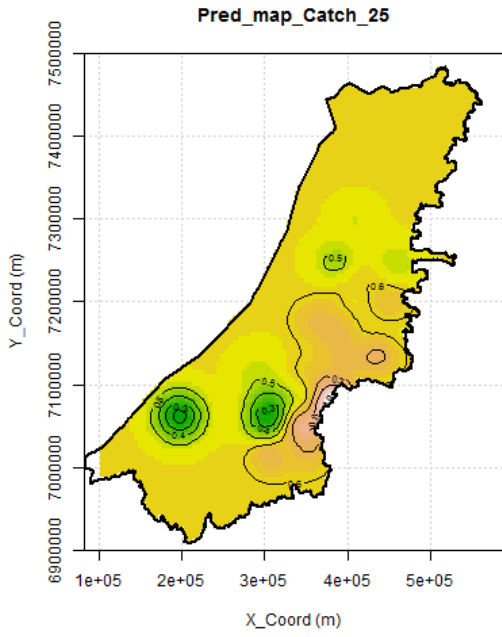


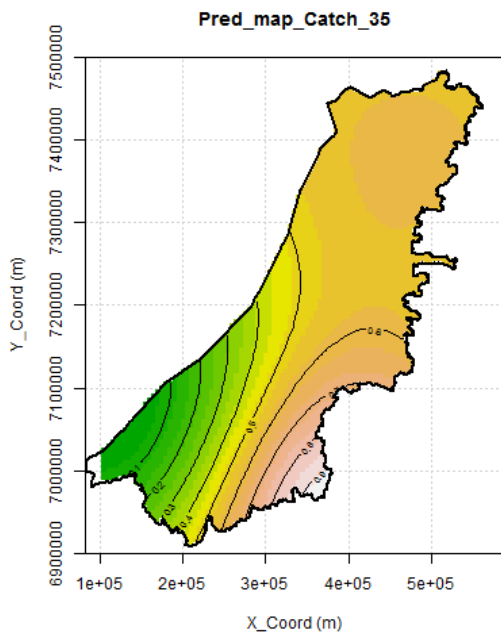
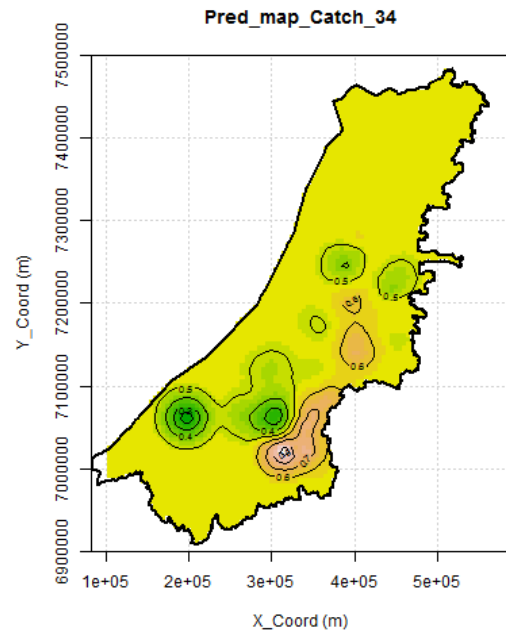
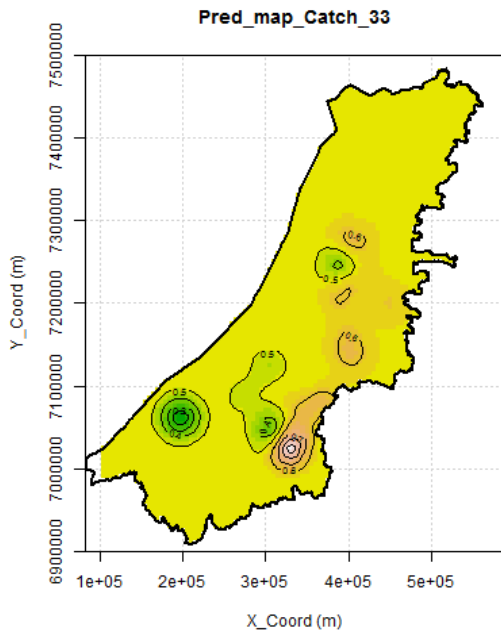
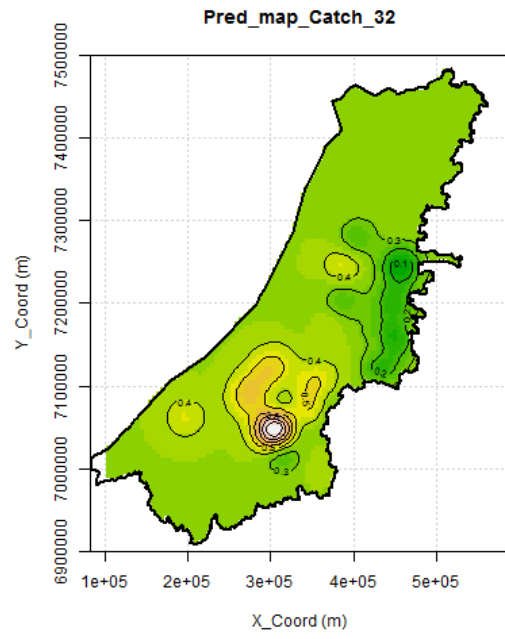
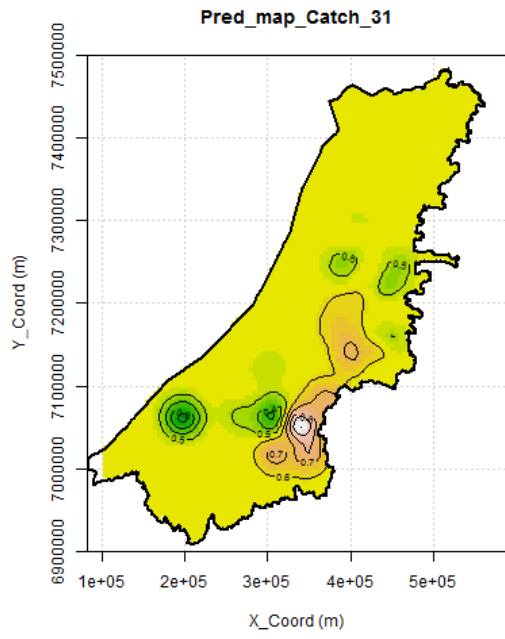




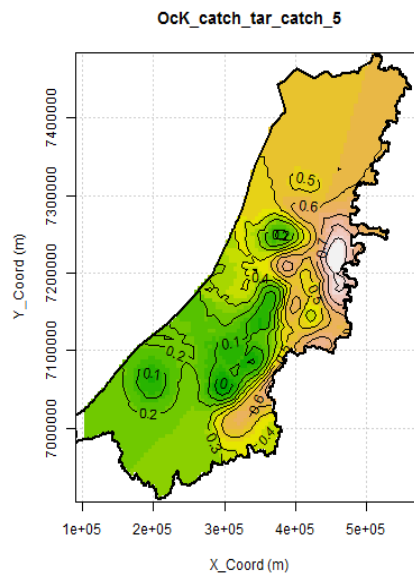
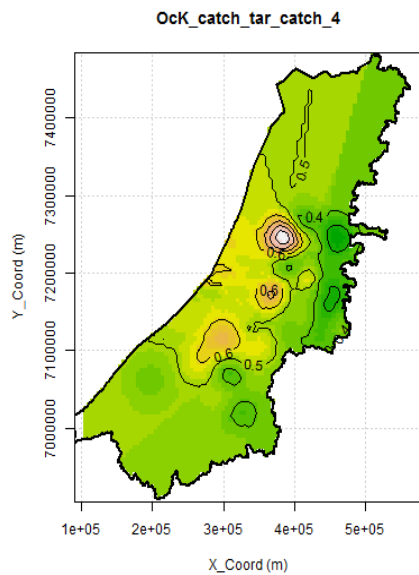
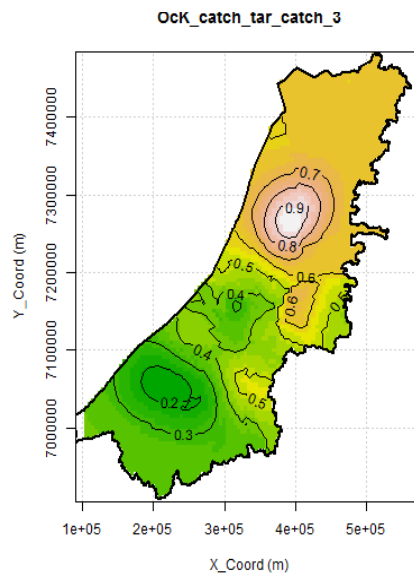
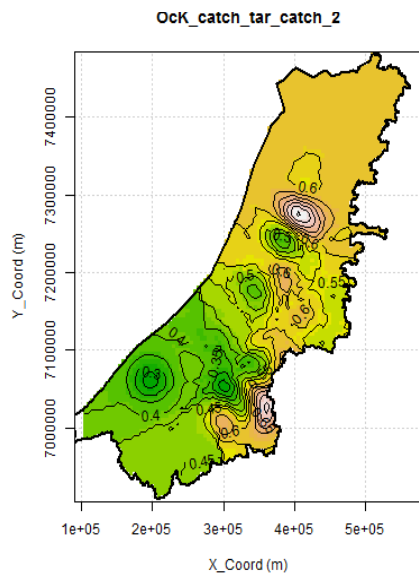
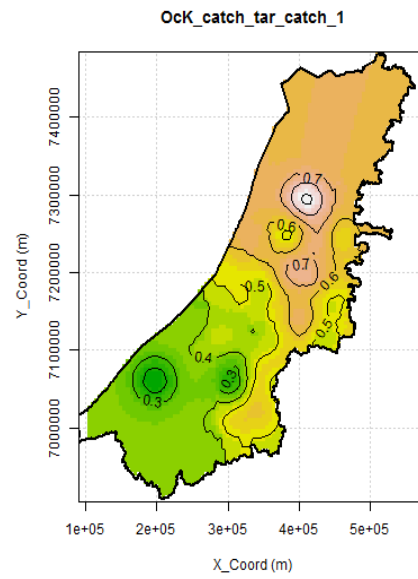
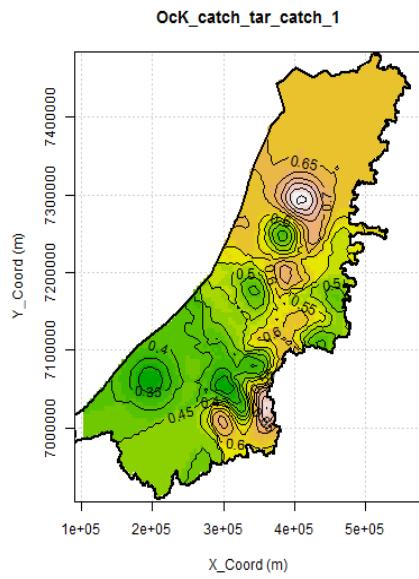




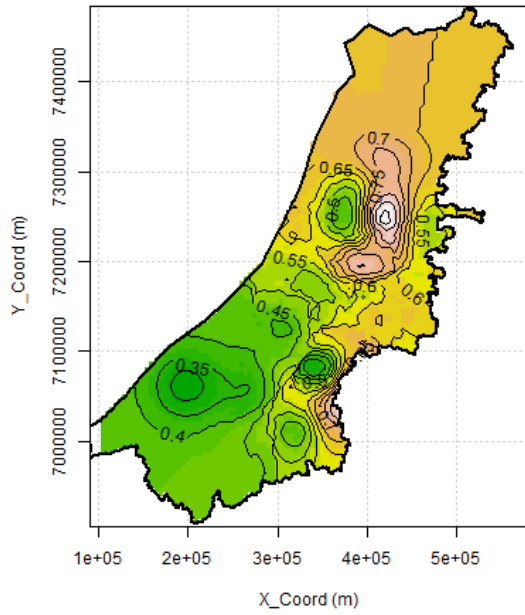




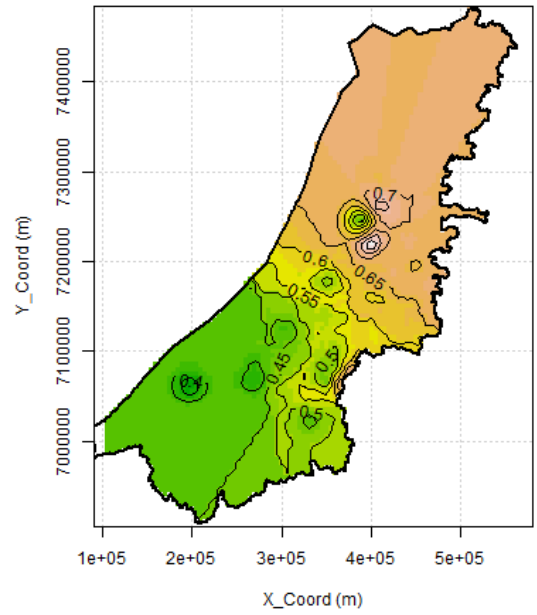
## Vedlegg C.2: Prediksjonskart for ordinær ko-kriging



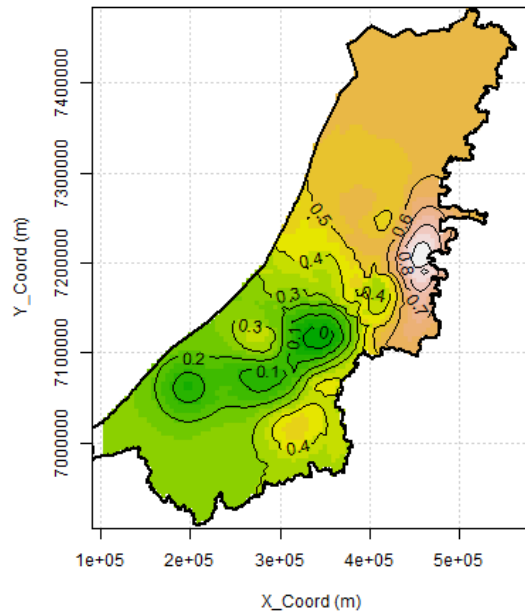
OcK\_catch\_tar\_catch\_6



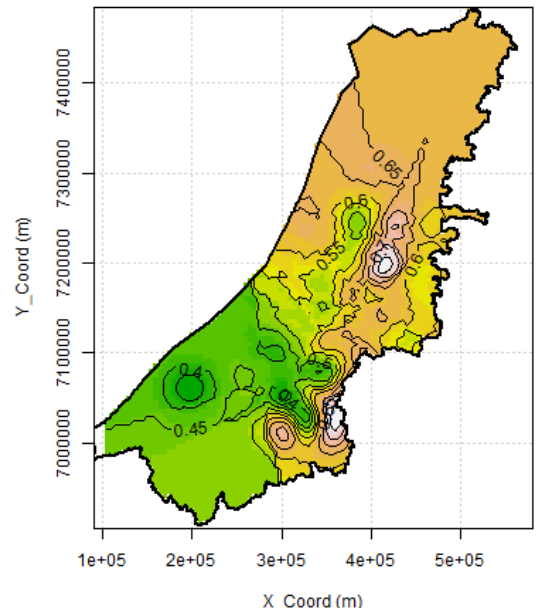
OcK\_catch\_tar\_catch\_7



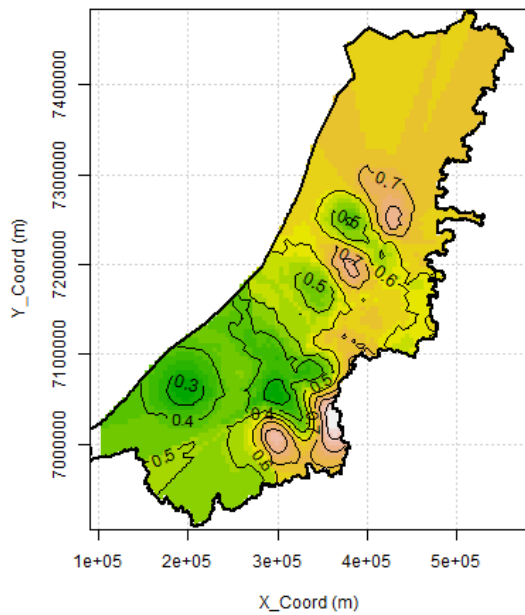
OcK\_catch\_tar\_catch\_8



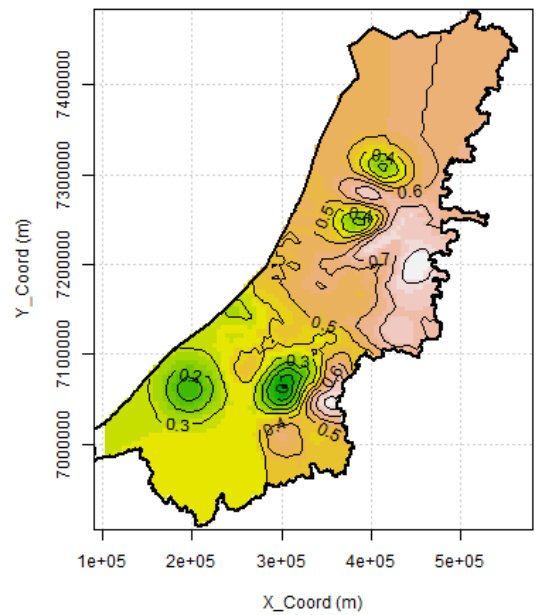
OcK\_catch\_tar\_catch\_9



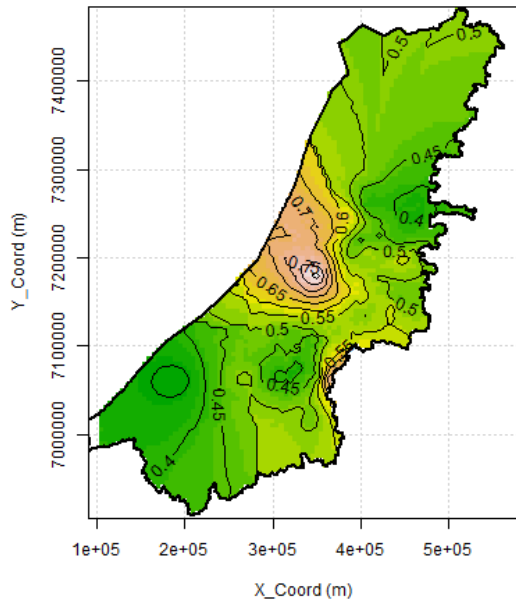
OcK\_catch\_tar\_catch\_10



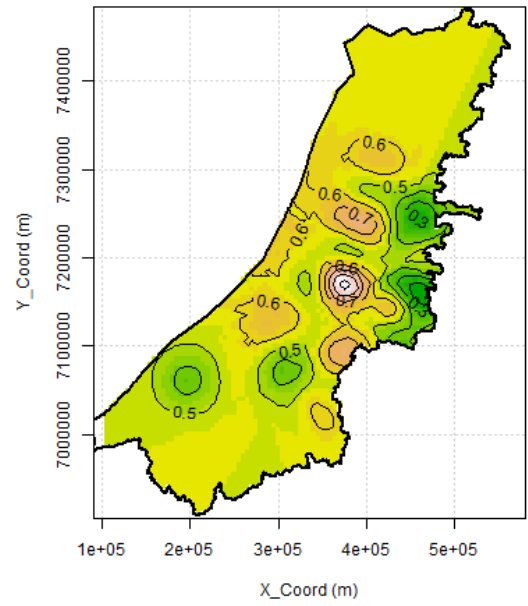
OcK\_catch\_tar\_catch\_11



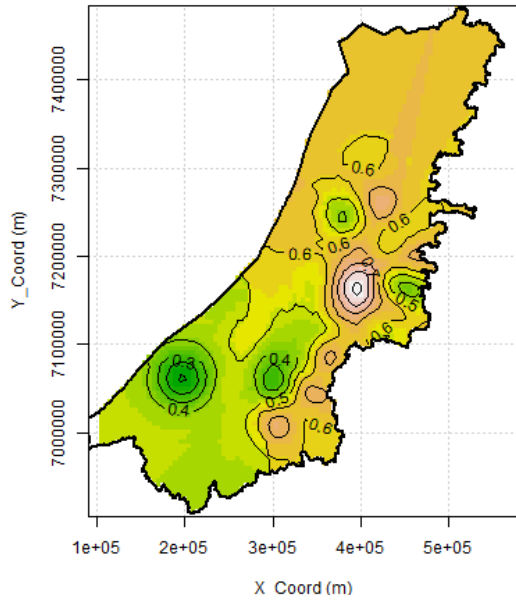
OcK\_catch\_tar\_catch\_12



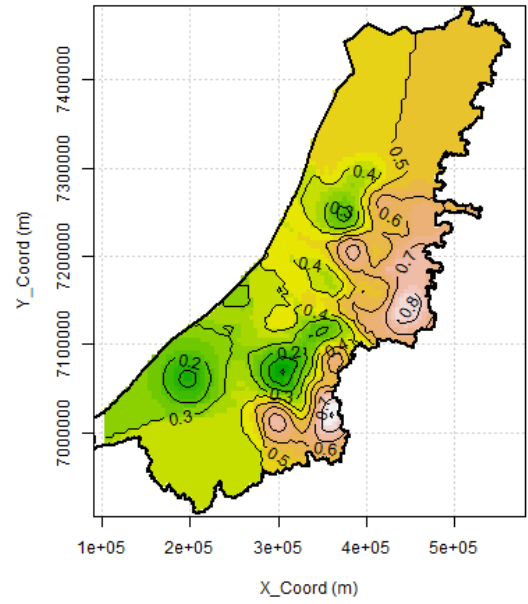
OcK\_catch\_tar\_catch\_13



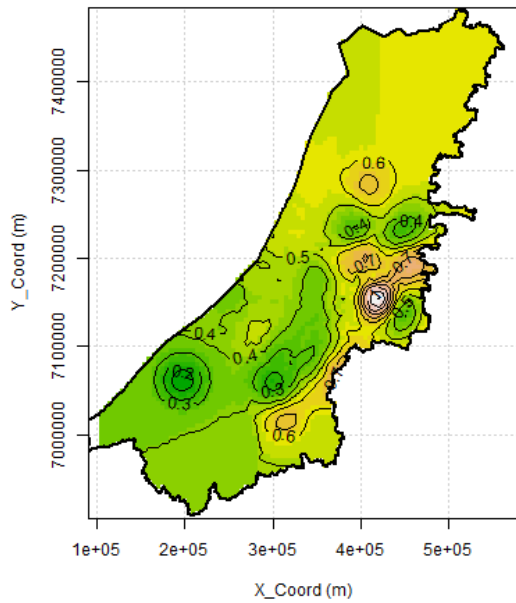
OcK\_catch\_tar\_catch\_14



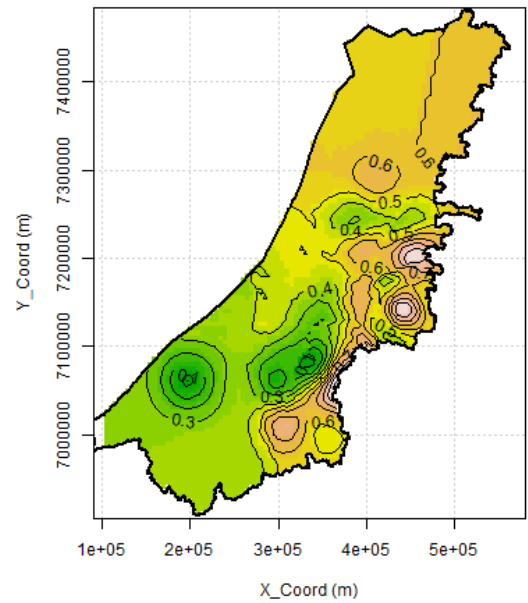
OcK\_catch\_tar\_catch\_15



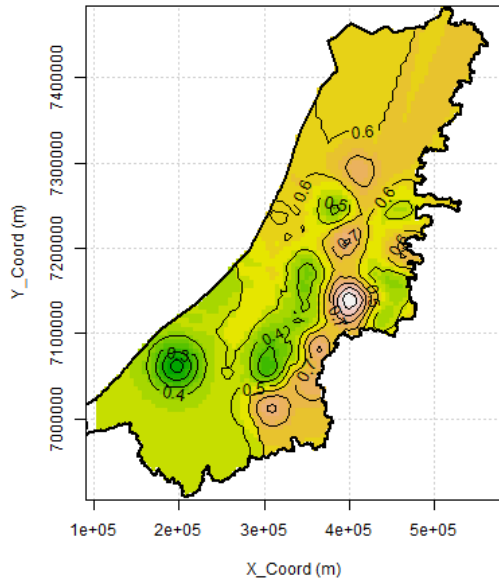
OcK\_catch\_tar\_catch\_16



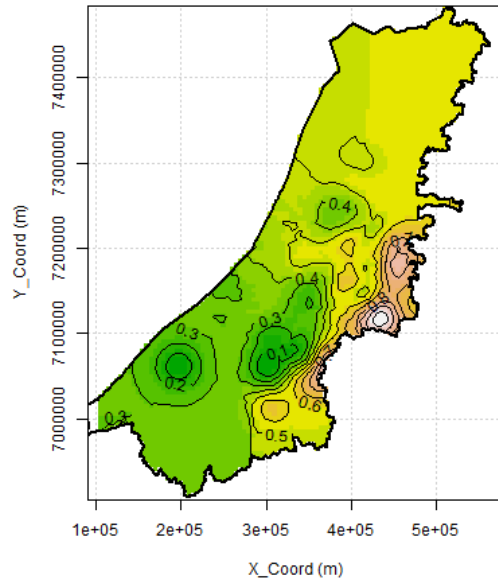
OcK\_catch\_tar\_catch\_17



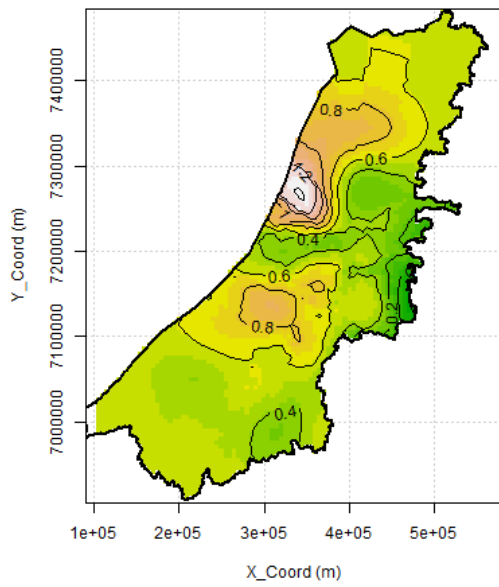
OcK\_catch\_tar\_catch\_18



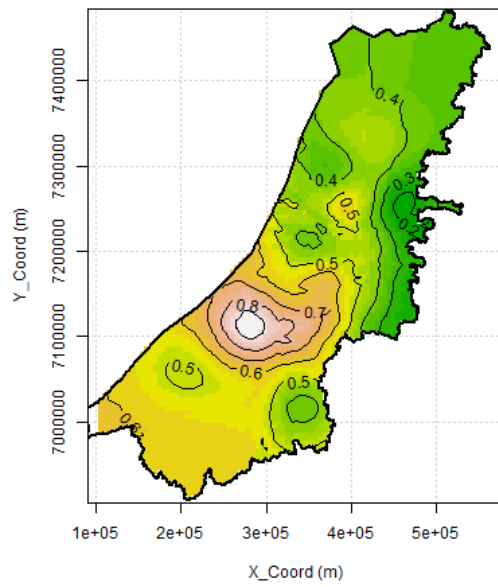
OcK\_catch\_tar\_catch\_19



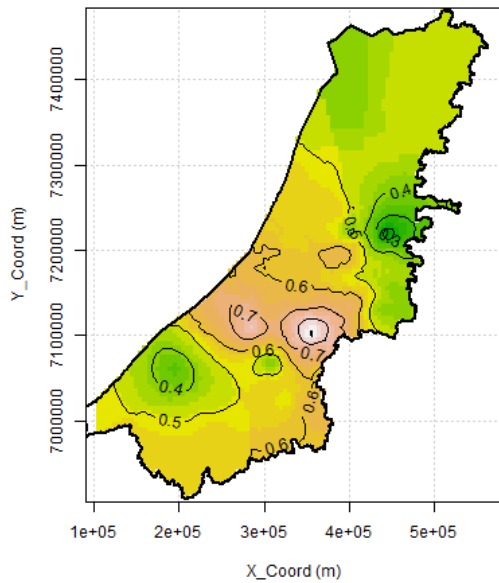
OcK\_catch\_tar\_catch\_20



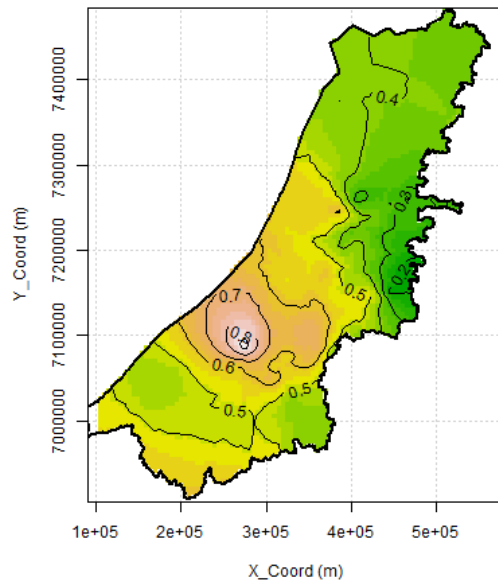
OcK\_catch\_tar\_catch\_21



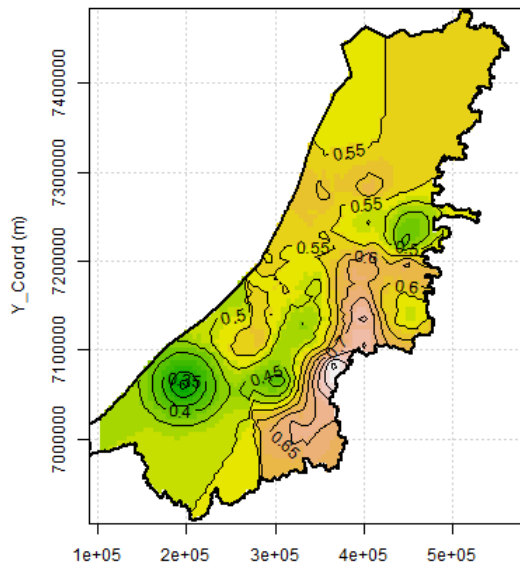
OcK\_catch\_tar\_catch\_22



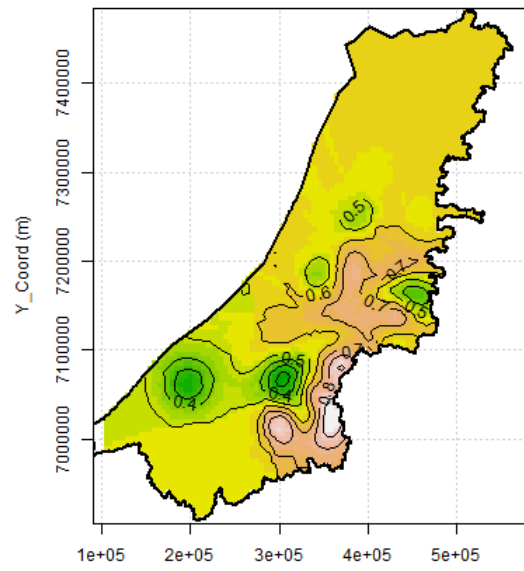
OcK\_catch\_tar\_catch\_23



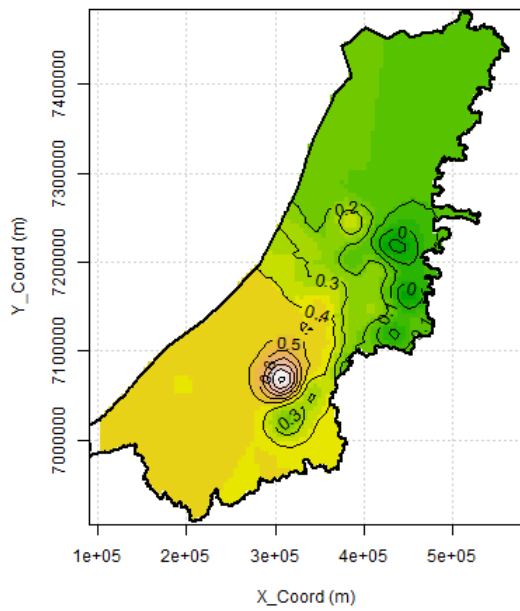
OcK\_catch\_tar\_catch\_24



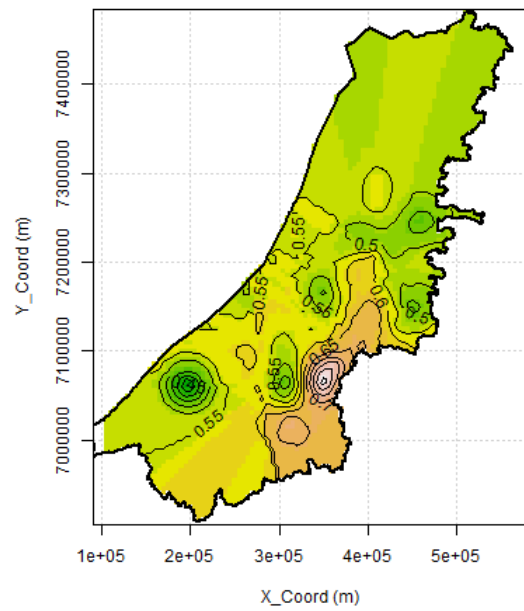
OcK\_catch\_tar\_catch\_25



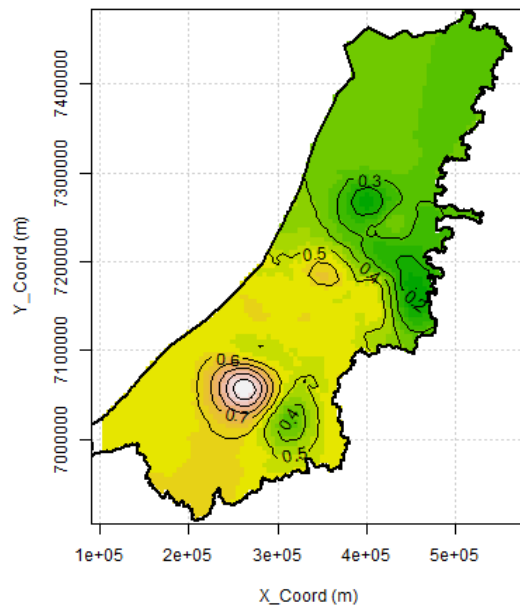
OcK\_catch\_tar\_catch\_26



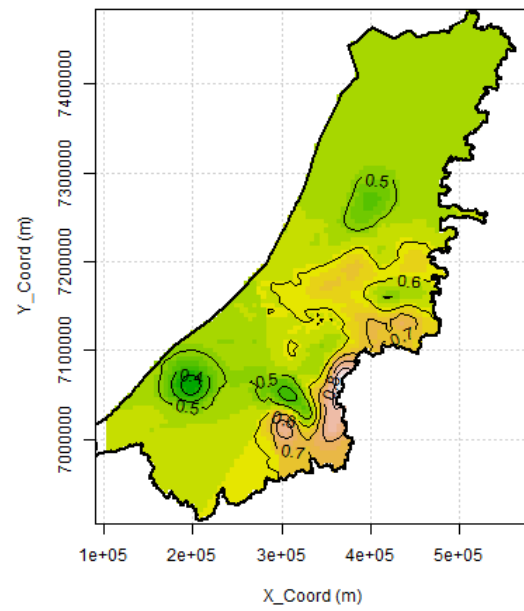
OcK\_catch\_tar\_catch\_27



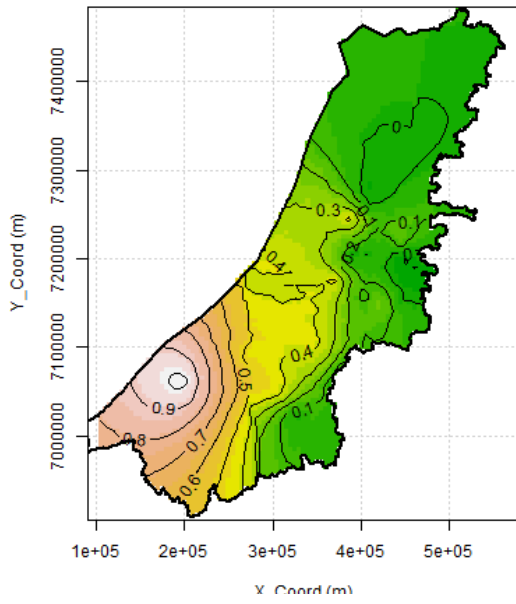
OcK\_catch\_tar\_catch\_28



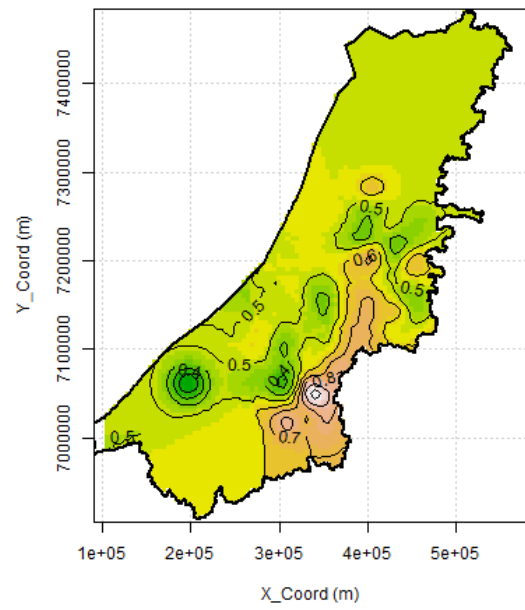
OcK\_catch\_tar\_catch\_29



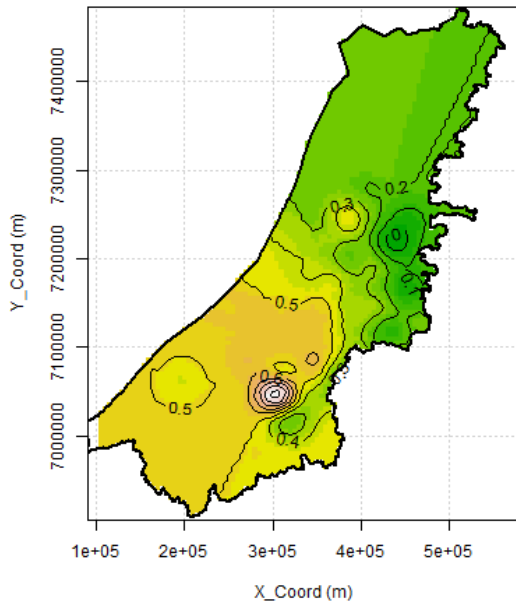
OcK\_catch\_tar\_catch\_30



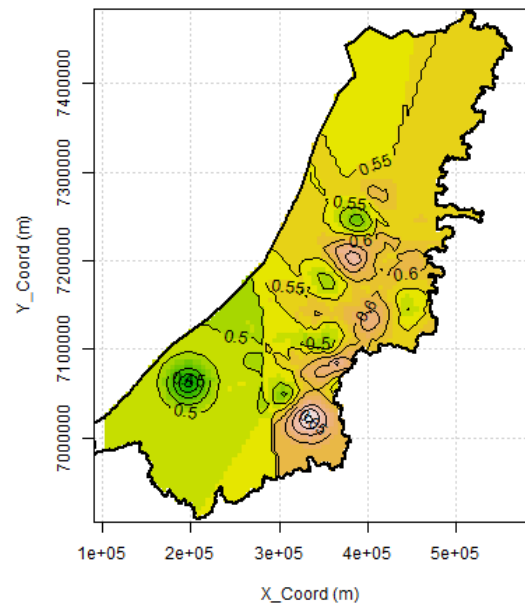
OcK\_catch\_tar\_catch\_31



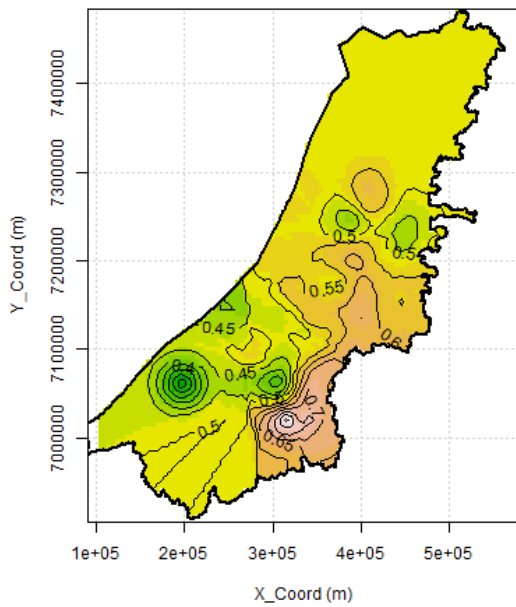
OcK\_catch\_tar\_catch\_32



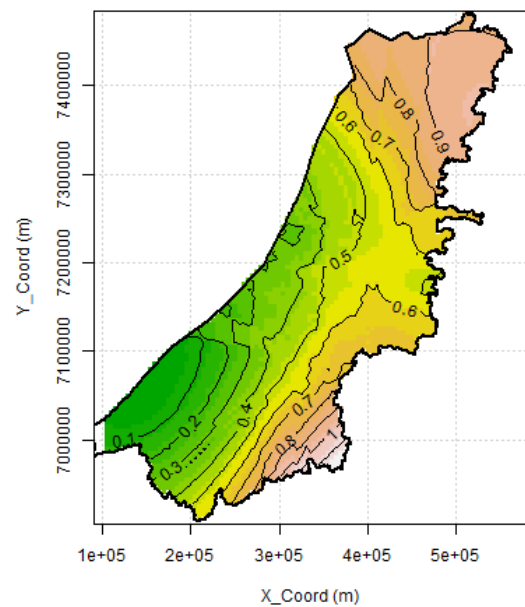
OcK\_catch\_tar\_catch\_33



OcK\_catch\_tar\_catch\_34



OcK\_catch\_tar\_catch\_35





# **Vedlegg D**

## **Variogramparametere for kriging**

Dette vedlegget viser variogramparameterne som det er kriget for ved ordinær kriging for alle referansefeltene.

Felt, modelltype, nugget, sill range

Catch\_1,gaussian,0.000703692284240941,0.0276633790514581,29437.1376275531  
Catch\_10,gaussian,9.66205624000818e-05,0.0401579368740021,32149.9535648397  
Catch\_11,gaussian,0.000609374337275395,0.0434833765262195,29586.9418301714  
Catch\_12,exponential,0,0.0847440926025353,271678.826747785  
Catch\_13,gaussian,0.00148296100854912,0.0252965656767902,32748.2928674952  
Catch\_14,gaussian,0.000594588054366643,0.0250780938907229,30569.9935051982  
Catch\_15,gaussian,0.000940067465200421,0.0379901762101371,30108.0785467869  
Catch\_16,gaussian,0,0.0221115582976589,26805.5031369085  
Catch\_17,gaussian,0.0044012860852971,0.0272813937499477,31781.5283058725  
Catch\_18,gaussian,0.000598654704401571,0.0256045510654271,27207.0396878252  
Catch\_19,gaussian,0.000274140820250033,0.0364075452116155,27384.6357942023  
Catch\_2,gaussian,0,0.0330496744320868,29463.7482653225  
Catch\_20,gaussian,0.00499389180374669,0.0225730118938596,62634.8658303741  
Catch\_21,gaussian,0.00301147299462319,0.0306340171526593,49359.4568128767  
Catch\_22,spherical,0.0017148144313025,0.0204284394638605,95003.424960125  
Catch\_23,spherical,5.69072907527196e-05,0.0313720903505277,147331.155027289  
Catch\_24,spherical,0,0.021469013693907,70385.991569578  
Catch\_25,gaussian,0.00117800935622777,0.0238442997970899,27239.5976007732  
Catch\_26,gaussian,0.000275656472822507,0.0392609254071076,22718.3001412595  
Catch\_27,spherical,0,0.0179380984203394,48224.6464098835  
Catch\_28,gaussian,0.00356719011569405,0.0287005957576353,34624.7799423773  
Catch\_29,gaussian,0.00201652130618742,0.0202550119237987,23929.382963008  
Catch\_3,gaussian,0,0.0560988389603363,53827.6006766114  
Catch\_30,exponential,0,0.0957444636670708,249888.153317191  
Catch\_31,gaussian,0.000186148645111611,0.0196977518403259,21476.7003000427  
Catch\_32,gaussian,0.00018329420815633,0.0327767718760055,24510.0652987026  
Catch\_33,spherical,0,0.0224426273962096,44588.0636455758  
Catch\_34,spherical,0.000192190986016612,0.0236483966684966,48824.8776830831  
Catch\_35,gaussian,0.00942869551825223,0.117606644419786,220241.060868108  
Catch\_4,gaussian,0.00266231358893769,0.0239852509409301,32923.239050182  
Catch\_5,gaussian,0.000844331752885317,0.0605475290942935,31100.7940953395  
Catch\_6,gaussian,3.97669721632245e-05,0.0304879761367425,35907.8333341595  
Catch\_7,spherical,0,0.027087301702577,34526.3286438759  
Catch\_8,gaussian,0.00462803523423194,0.0432334426482042,34624.7799436562  
Catch\_9,gaussian,0.000202100332072488,0.0269886082259478,26358.2588831601

# Vedlegg E

## Fullstendige korrelasjons- og prediksjonsresultater

Her er den fullstendige tabellen for sanne korrelasjonsverdier målt opp mot de predikerte ved ordinær kriging og ko-kriging. Det er oppsummert både for hvert referansefelt og hvert studiefelt deres gjennomsnittlige absolutte feil (MAE) for estimatene.

Sjekk av Kenda	Vølsetelva	OK-pred	Ock-pred	Vesteråa	OK-pred	Ock-pred	Storåselva	OK-pred	Ock-pred	Sandvasselva	OK-pred	Ock-pred	
variabel og Ref-													
TWI/WI	1	0.471	0.39	0.44	0.398	0.47	0.63	0.625	0.64	0.53	0.461	0.43	0.46
TWI	2	0.44	0.35	0.41	0.35	0.43	0.61	0.6	0.60	0.50	0.409	0.39	0.42
TWI	3	NA	0.43	0.47	NA	0.28	0.49	NA	0.62	0.46	NA	0.41	0.45
WI	4	0.613	0.57	0.56	0.737	0.58	0.51	0.565	0.47	0.42	0.626	0.62	0.67
Cr	5	0.136	0.10	0.06	0	0.32	-0.01	0.478	0.48	0.51	0.113	0.13	-0.01
TWI	6	NA	0.47	0.49	NA	0.44	0.55	NA	0.65	0.53	NA	0.45	0.48
TWI	7	NA	0.54	0.52	NA	0.57	0.64	NA	0.57	0.49	nA	0.52	0.50
Cr	8	NA	0.29	0.15	NA	0.33	0.01	NA	0.44	0.42	na	0.28	0.07
TWI	9	0.462	0.41	0.44	0.387	0.51	0.62	0.68	0.65	0.53	0.446	0.45	0.46
TWI	10	0.403	0.35	0.41	0.34	0.42	0.64	0.677	0.67	0.55	0.417	0.39	0.43
Rr	11	0.339	0.24	0.46	0.235	0.47	0.62	0.588	0.57	0.65	0.291	0.28	0.47
Cr	12	0.491	0.47	0.43	0.569	0.70	0.51	0.631	0.56	0.57	0.494	0.50	0.35
Cr	13	0.576	0.54	0.48	0.688	0.68	0.48	0.77	0.57	0.61	0.634	0.62	0.46
Cr	14	NA	0.46	0.42	NA	0.56	0.50	NA	0.67	0.71	NA	0.50	0.41
Dd	15	0.277	0.19	0.22	0.2	0.44	0.43	0.556	0.55	0.57	0.316	0.23	0.50
Cr	16	0.451	0.43	0.35	0.426	0.52	0.31	0.696	0.55	0.63	0.466	0.46	0.28
Cr	17	0.386	0.30	0.22	0.344	0.51	0.19	0.665	0.57	0.66	0.416	0.35	0.16
Cr	18	0.505	0.47	0.39	0.436	0.56	0.37	0.771	0.92	0.94	0.548	0.51	0.35
Cr	19	0.323	0.26	0.17	0.259	0.50	0.16	0.628	0.57	0.66	0.359	0.30	0.13
Cr	20	0.686	0.75	0.67	0.84	0.75	0.75	0.652	0.54	0.55	0.798	0.82	0.68
WI	21	0.679	0.83	0.89	0.788	0.71	0.58	NA	0.55	0.51	NA	0.86	0.95
Dd	22	0.663	0.64	0.68	0.73	0.74	0.47	0.766	0.67	0.68	0.753	0.68	0.74
Cr	23	0.687	0.82	0.76	0.766	0.63	0.57	0.568	0.53	0.54	0.781	0.79	0.62
Cr	24	0.535	0.49	0.48	0.498	0.55	0.43	0.862	0.72	0.75	0.608	0.52	0.39
Dd	25	0.436	0.45	0.49	0.42	0.61	0.77	0.822	0.67	0.70	0.549	0.50	0.67
Cr	26	NA	0.53	0.62	0.606	0.29	0.51	NA	0.26	0.21	NA	0.47	0.58
Cr	27	0.566	0.57	0.52	0.532	0.58	0.45	0.792	0.64	0.72	0.638	0.59	0.42
Cr	28	NA	0.60	0.56	NA	0.52	0.58	NA	0.48	0.52	NA	0.60	0.48
Dd	29	NA	0.54	0.55	NA	0.58	0.51	NA	0.63	0.69	Na	0.53	0.67
Cr	30	0.384	0.43	0.48	0.498	0.32	0.48	0.18	0.14	0.13	0.447	0.42	0.49
Cr	31	0.505	0.53	0.45	0.438	0.57	0.35	0.711	0.67	0.75	0.561	0.53	0.35
Cr	32	0.511	0.51	0.59	0.582	0.38	0.60	0.244	0.36	0.33	0.504	0.52	0.58
Dd	33	NA	0.50	0.52	NA	0.53	0.48	NA	0.59	0.65	NA	0.49	0.65
WI	34	0.431	0.46	0.52	0.349	0.52	0.61	0.71	0.61	0.62	0.453	0.47	0.46
Cr	35	NA	0.48	0.42	NA	0.57	0.46	NA	0.66	0.67	NA	0.49	0.32
	MAE		0.05386	0.074606	MAE	0.141312	0.165588	MAE	0.077727	0.082565	MAE	0.032642	0.123042

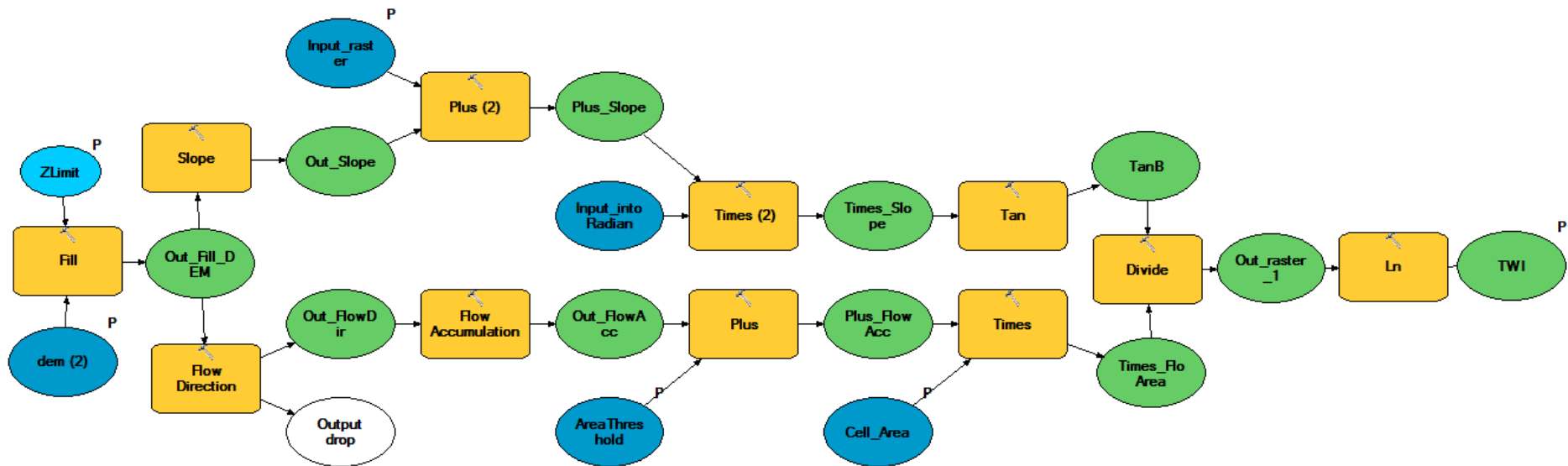
Navlusfoss	OK-pred	Ock-pred	Kjerråa	OK-pred	Ock-pred	Hellifoss	OK-pred	Ock-pred	Ekorndalselva	OK-pred	Ock-pred	Bøla	OK-pred	Ock-pred	MAE OK	MAE Ock	Diff	
	0.63	0.64	0.64	0.629	0.60	0.32	0.72	0.67	0.74	0.529	0.45	0.40	0.534	0.45	0.64	0.05	0.09	-0.05
	0.6	0.61	0.60	0.63	0.65	0.24	0.68	0.65	0.67	0.516	0.41	0.49	0.503	0.42	0.62	0.04	0.10	-0.05
NA		0.60	0.56	NA	0.68	0.35	NA	0.70	0.69	NA	0.38	0.48	NA	0.33	0.45			
	0.633	0.48	0.42	0.315	0.41	0.58	0.622	0.51	0.48	0.628	0.63	0.63	0.685	0.58	0.55	0.08	0.12	-0.04
	0.421	0.47	0.48	0.726	0.39	0.42	0.38	0.64	0.51	0.166	0.34	0.12	0.26	0.25	0.10	0.12	0.10	0.02
NA		0.65	0.62	NA	0.67	0.50	NA	0.64	0.69	NA	0.52	0.36	NA	0.40	0.64			
NA		0.57	0.59	NA	0.57	0.39	NA	0.60	0.73	NA	0.55	0.47	NA	0.48	0.56			
NA		0.41	0.39	NA	0.66	0.46	NA	0.52	0.42	NA	0.44	0.19	NA	0.23	-0.10			
	0.669	0.65	0.65	0.698	0.96	0.52	0.688	0.52	0.57	0.529	0.51	0.59	0.531	0.48	0.66	0.07	0.09	-0.02
	0.667	0.67	0.66	0.738	0.63	0.22	0.7	0.88	0.81	0.498	0.40	0.56	0.521	0.45	0.67	0.06	0.13	-0.07
	0.542	0.57	0.59	0.802	0.58	0.68	0.539	0.64	0.65	0.332	0.51	0.37	0.377	0.40	0.49	0.09	0.12	-0.02
	0.654	0.57	0.56	0.448	0.51	0.40	0.563	0.61	0.52	0.482	0.87	0.64	0.6	0.57	0.38	0.08	0.09	-0.01
	0.752	0.59	0.63	0.483	0.53	0.42	0.686	0.53	0.48	0.601	0.78	0.55	0.711	0.67	0.49	0.08	0.13	-0.05
NA		0.69	0.74	NA	0.66	0.64	NA	0.63	0.61	NA	0.57	0.51	NA	0.54	0.47			
	0.505	0.54	0.49	0.646	0.49	0.79	0.438	0.51	0.46	0.234	0.49	0.56	0.348	0.38	0.29	0.10	0.10	-0.01
	0.676	0.52	0.60	0.742	0.62	0.56	0.631	0.58	0.50	0.464	0.54	0.33	0.501	0.50	0.31	0.07	0.12	-0.05
	0.609	0.56	0.67	0.725	0.63	0.49	0.546	0.52	0.48	0.348	0.56	0.29	0.45	0.49	0.24	0.08	0.12	-0.04
	0.778	0.91	0.93	0.659	0.66	0.53	0.707	0.64	0.58	0.575	0.54	0.33	0.603	0.57	0.40	0.06	0.14	-0.08
	0.569	0.54	0.61	0.709	0.52	0.48	0.498	0.57	0.45	0.293	0.55	0.32	0.404	0.43	0.25	0.10	0.10	0.00
	0.689	0.57	0.58	0.335	0.39	0.40	0.653	0.54	0.37	0.71	0.67	0.63	0.741	0.69	0.68	0.07	0.09	-0.02
	0.735	0.59	0.53	0.388	0.40	0.56	0.674	0.52	0.34	0.731	0.61	0.67	0.657	0.73	0.74			
	0.806	0.70	0.60	0.45	0.48	0.52	0.7	0.54	0.46	0.701	0.62	0.62	0.777	0.88	0.92	0.07	0.11	-0.04
	0.644	0.55	0.57	0.311	0.41	0.31	0.635	0.50	0.47	0.752	0.58	0.47	0.701	0.65	0.63	0.09	0.10	-0.02
	0.82	0.72	0.75	0.606	0.61	0.52	0.697	0.59	0.52	0.57	0.59	0.38	0.662	0.63	0.41	0.06	0.12	-0.07
	0.764	0.67	0.66	0.637	0.58	0.79	0.619	0.59	0.52	0.466	0.64	0.67	0.595	0.63	0.62	0.08	0.12	-0.04
NA		0.27	0.24	NA	0.20	0.23	NA	0.21	0.22	0.524	0.28	0.40	NA	0.38	0.50	0.00	0.00	0.00
	0.775	0.64	0.71	0.551	0.57	0.47	0.659	0.57	0.48	0.574	0.57	0.34	0.651	0.64	0.52	0.05	0.11	-0.06
NA		0.49	0.54	NA	0.32	0.23	NA	0.42	0.43	NA	0.55	0.52	NA	0.51	0.56			
NA		0.62	0.60	NA	0.56	0.69	NA	0.56	0.48	NA	0.64	0.74	NA	0.60	0.65			
	0.282	0.16	0.16	0	0.05	0.11	0.252	0.18	0.23	0.385	0.31	0.44	0.391	0.30	0.47	0.07	0.06	0.01
	0.744	0.66	0.73	0.557	0.59	0.47	0.648	0.58	0.48	0.55	0.57	0.36	0.617	0.58	0.46	0.05	0.10	-0.05
	0.474	0.37	0.36	0.164	0.27	0.27	0.421	0.29	0.31	0.511	0.37	0.45	0.527	0.49	0.58	0.09	0.07	0.01
NA		0.59	0.55	NA	0.55	0.72	NA	0.57	0.53	NA	0.52	0.62	NA	0.51	0.58			
	0.64	0.61	0.62	0.608	0.57	0.51	0.551	0.55	0.55	0.454	0.50	0.50	0.491	0.51	0.50	0.05	0.06	-0.02
NA		0.65	0.67	NA	0.58	0.47	NA	0.54	0.48	NA	0.54	0.39	NA	0.62	0.54			
MAE	0.081724	0.0811	MAE	0.090042	0.165354	MAE	0.097237	0.122851	MAE	0.123641	0.11441	MAE	0.047722	0.128728				



# Vedlegg F

## Pythonmodellen for TWI

Figuren i dette vedlegget viser pythonmodellen som er brukt for å finne TWI med leselige kommandoer.



Figur F.1: Modellen som er brukt i Python i ArcGIS for å finne TWI



# Vedlegg G

## Script for R

G.1 Qdata.r.....	156
G.2 Klimadata_for_felt.r.....	161
G.3 PET_WI.r.....	164
G.4 dist_corr.r.....	167
G.5 covar.r.....	170
G.6 OK.r.....	174
G.7 OcK.r.....	179
G.8 Skalering.r.....	185

Det presiseres at scriptene, bortsett fra Skalering.r, originalt er laget i forbindelse med Zelelew og Alfredsen (2014). De er omarbeidet til en viss grad for å tilpasses nye pakker og versjoner av R, i tillegg til å tilpasses et nytt prosjekt. Det er også laget til norske kommentarer i scriptene for beskrivelse av metoden.

# G.1 Qdata.r

```
1 ## Erlend Gjestemoen april 2014
2 ## Qdata.r - Et script for å ta inn vannføringsdata sendt fra NVE,
redigere og samle alle i en tabell
3
4
5 ## Jeg har Qdata som skal brukes videre i fem .csv filer tilsendt fra
NVE
6 ## Steg 1: Leser inn .csv-filene fra NVE og gjør om ingen data-verdier
til NA i.h.t. R
7
Qdata1=read.csv(file="C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/reover
siktovermlestasjoner/nord_dell.csv",header=FALSE,skip=20, sep=";", dec=".")
8 Qdata1[Qdata1===-9999]=NA
9
10
Qdata2=read.csv(file="C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/reover
siktovermlestasjoner/nord_del3.csv",header=FALSE,skip=6, sep=";", dec=".")
11 Qdata2[Qdata2===-9999]=NA
12
13
Qdata3=read.csv(file="C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/reover
siktovermlestasjoner/sor_dell.csv",header=FALSE,skip=20, sep=";", dec=".")
14 Qdata3[Qdata3===-9999]=NA
15
16
Qdata4=read.csv(file="C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/reover
siktovermlestasjoner/dell_1710.csv",header=FALSE,skip=20, sep=";", dec=".")
17 Qdata4[Qdata4===-9999]=NA
18
19
Qdata5=read.csv(file="C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/reover
siktovermlestasjoner/del2_1710.csv",header=FALSE,skip=20, sep=";", dec=".")
20 Qdata5[Qdata5===-9999]=NA
21
22 # Steg 2: Dataseriene fra NVE har ulikt spenn. Kontrollere datoene og få
dem like lange over samme periode
23
24 Qdata1 = Qdata1[-c(1:3287, 38718:39082), ]
25 Qdata3 = Qdata3[-c(1:2922), ]
26 Qdata4 = Qdata4[-c(1:4749), ]
27 Qdata5 = Qdata5[-c(1:2191), ]
28
29 # Steg 3: Luke ut de interessante seriene og lime sammen til en tabell.
30 # (Her må det kontrolleres via .csv filene at de riktige seriene blir
valgt)
31
32
ref.felt=cbind(Qdata5[, 6], Qdata5[, 2], Qdata4[, 20], Qdata4[, 21], Qdata5[, 7], Qda
ta5[, 3], Qdata4[, 19], Qdata4[, 15], Qdata1[, 18], Qdata2[, 4], Qdata2[, 6], Qdata2[, 3
], Qdata1[, 14], Qdata1[, 17], Qdata2[, 5], Qdata2[, 2], Qdata1[, 19], Qdata1[, 20], Qda
ta2[, 7], Qdata1[, 13], Qdata4[, 14], Qdata1[, 12], Qdata3[, 20], Qdata1[, 11], Qdata1[
, 9], Qdata1[, 6], Qdata1[, 10], Qdata4[, 13], Qdata4[, 12], Qdata3[, 4], Qdata1[, 5], Qd
ata1[, 4], Qdata4[, 8], Qdata3[, 18], Qdata4[, 9])
33
34 # Steg 4: Redigere serier i henhold til regulering, overføring og
visuell inspeksjon
```

```

35
36 # Åbjørvatn regulert fra 1979
37 ref.felt[23012:35430,7]=NA
38 # Trøa regulert etter 24.3.1994
39 ref.felt[28573:35430,35]=NA
40 # Mannseter regulert etter 24.3.1994
41 ref.felt[28573:35430,33]=NA
42
43 # Steg 5: Skrive den nye tabellen til en fil på pc for lagring
44
45 setwd("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/")
46 fout="Q_ref_felt.txt"
47 write.table(ref.felt, file =fout, append = FALSE, quote = FALSE, sep =
"\t ", row.names = TRUE,col.names = TRUE, )
48
49
50
51
52 #####---FERDIG---#####
53
54
55 data2=data1[,2:21]
56 row.names(data2)=as.Date(data1[,1])
57
58
for.navn=read.csv(file="C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/reov
ersiktovermlestasjoner/nord_dell.csv",header=FALSE,sep=";", dec=".")
59 navn1=for.navn[1:20,]
60 navn2=as.character(navn1)
61 names(data2)=navn2
62 #data_med_navn=rbind(navn1,data1)
63 # data1 er dermed 20 felt med døgnlige data og radnavn med dato og
kolonnenavn beskrivende for feltet
64
setwd("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/kartdata/Vannføringsd
ata/")
65 fout="dell.txt"
66
67 write.table(data2, file =fout, append = FALSE, quote = FALSE, sep = "\t
", row.names = TRUE,col.names = TRUE, )
68
69 ## Del 3 nord
70
data3=read.csv(file="C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/reovers
iktovermlestasjoner/nord_del3.csv",header=FALSE,skip=6, sep=";", dec=".")
71 data4=data3[,2:7]
72 row.names(data4)=as.Date(data3[,1])
73
74
for.navn1=read.csv(file="C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/reo
versiktovermlestasjoner/nord_del3.csv",header=FALSE,sep=";", dec=".")
75 navn3=for.navn1[1:6,]
76 navn4=as.character(navn3)
77 names(data4)=navn4
78 #data_med_navn=rbind(navn1,data1)
79 # data1 er dermed 20 felt med døgnlige data og radnavn med dato og
kolonnenavn beskrivende for feltet
80
setwd("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/kartdata/Vannføringsd
ata/")
81 fout="del3.txt"

```

```

82
83 write.table(data4, file =fout, append = FALSE, quote = FALSE, sep = "\t
", row.names = TRUE,col.names = TRUE, )
84
85 ## Del 1 sør
86
data5=read.csv(file="C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/reovers
iktovermlestasjoner/sor_dell.csv",header=FALSE,skip=20, sep=";", dec=".")
87 data6=data5[,2:21]
88 row.names(data6)=as.Date(data5[,1])
89
90
for.navn2=read.csv(file="C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/reo
versiktovermlestasjoner/sor_dell.csv",header=FALSE,sep=";", dec=".")
91 navn5=for.navn2[1:20,]
92 navn6=as.character(navn5)
93 names(data6)=navn6
94 #data_med_navn=rbind(navn1,data1)
95 # data1 er dermed 20 felt med døgnlige data og radnavn med dato og
kolonnenavn beskrivende for feltet
96
setwd("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/kartdata/Vannføringsd
ata/")
97 fout="dell_sor.txt"
98
99 write.table(data6, file =fout, append = FALSE, quote = FALSE, sep = "\t
", row.names = TRUE,col.names = TRUE, )
100
101## Del 1 1710
102data7=read.csv(file="C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/reov
ersiktovermlestasjoner/dell_1710.csv",header=FALSE,skip=20, sep=";",
dec=".")
103data8=data7[,2:21]
104row.names(data8)=as.Date(data7[,1])
105
106for.navn3=read.csv(file="C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/
reoversiktovermlestasjoner/dell_1710.csv",header=FALSE,sep=";", dec=".")
107navn7=for.navn3[1:20,]
108navn8=as.character(navn7)
109names(data8)=navn8
110#data_med_navn=rbind(navn1,data1)
111# data1 er dermed 20 felt med døgnlige data og radnavn med dato og
kolonnenavn beskrivende for feltet
112setwd("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/kartdata/Vannførin
gsdata/")
113fout="dell_1710.txt"
114
115write.table(data8, file =fout, append = FALSE, quote = FALSE, sep = "\t
", row.names = TRUE,col.names = TRUE, )
116
117## Del 2 1710
118data9=read.csv(file="C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/reov
ersiktovermlestasjoner/del2_1710.csv",header=FALSE,skip=20, sep=";",
dec=".")
119data10=data9[,2:21]
120row.names(data10)=as.Date(data9[,1])
121
122for.navn4=read.csv(file="C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/
reoversiktovermlestasjoner/del2_1710.csv",header=FALSE,sep=";", dec=".")
123navn9=for.navn4[1:20,]
124navn10=as.character(navn9)

```

```

125names(data10)=navn10
126#data_med_navn=rbind(navn1,data1)
127# data1 er dermed 20 felt med døgnlige data og radnavn med dato og
kolonnenavn beskrivende for feltet
128setwd("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/kartdata/Vannførin
gsdata/")
129fout="del2_1710.txt"
130
131write.table(data10, file =fout, append = FALSE, quote = FALSE, sep = "\t
", row.names = TRUE,col.names = TRUE, )
132
133
134#####
#####
135# Steg 2: NVE's kode for ingen data er -9999. I R settes de til NA.
136data2[data2===-9999] <- NA
137data4[data4===-9999] <- NA
138data6[data6===-9999] <- NA
139data8[data8===-9999] <- NA
140data10[data10===-9999] <- NA
141
142# Steg 3:
143
144data2b <- data2[-c(1:3287,38718:39082), ]
145data6b <- data6[-c(1:2922), ]
146data8b <- data8[-c(1:4749), ]
147data10b <- data10[-c(1:2191), ]
148
149alle.felt=cbind(data2b,data4,data6b,data8b,data10b)
150
151Floan_bru=data.frame(ref.felt[,5:6])
152Floan_bru[Floan_bru===-9999] <- 0
153Floan_bru[,3]=Floan_bru[,1]+Floan_bru[,2]
154
155
156
157ref.felt=allefelt[, -c(1,15,20,27,28,31:42,44,47,49:51,61:63,69,73:86)]
158
159
160
161## Sortering i henhold til FID
162#dates=row.names[-c(1:3653)]
163#Floan_bru=cbind(ref.felt[,5],ref.felt[,6])
164
165# den under gir sorterte referansedelt etter FID, men som matrise uten
navn og dato.
166ref.felt.FID=cbind(ref.felt[,46],ref.felt[,42],ref.felt[,45],ref.felt[,4
3],ref.felt[,44],ref.felt[,39],ref.felt[,32],ref.felt[,30],ref.felt[,40],re
f.felt[,36],ref.felt[,37],ref.felt[,38],ref.felt[,41],ref.felt[,33],ref.fel
t[,31],ref.felt[,35],ref.felt[,29],ref.felt[,11],ref.felt[,7],ref.felt[,18]
,ref.felt[,10],ref.felt[,16],ref.felt[,19],ref.felt[,21],ref.felt[,15],ref.
felt[,23],ref.felt[,22],ref.felt[,14],ref.felt[,3],ref.felt[,1],ref.felt[,9
],ref.felt[,12],ref.felt[,20],Floan_bru[,3],ref.felt[,4],ref.felt[,17],ref.
felt[,8],ref.felt[,2],ref.felt[,13],ref.felt[,24],ref.felt[,28],ref.felt[,2
5],ref.felt[,27],ref.felt[,26],stringsAsFactors =
FALSE,row.names=TRUE,names=TRUE)
167
168
169fout="Q_ref_felt.txt"
170write.table(ref.felt.FID, file =fout, append = FALSE, quote = FALSE, sep
= "\t ", row.names = TRUE,col.names = TRUE, )

```

```
171
172#Trengs til rdist scriptet
173#Q=matrix(scan("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/kartdata/
Vannføringsdata/Q_ref_felt.txt"),skip=1,35430,44, byrow=T)
```

## G.2 Klimadata\_for\_felt.r

```
1 ## Erlend april 2014
2 ## Tilegning av klimadata for hvert av nedbørsfeltene
3 ## Original: Mulugeta B. Zelelew, NTNU
4 # =====
5
6 # Setter arbeidskatalog og tar inn R-pakkene som trengs
7
8 setwd("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/WI")
9
10library(SDMTools)
11
12
13id = 1 # 1 for temperatur eller 2 for nedbør
14
15# Leser inn ASCII-fil med felt-ID'er fra ArcGIS.
16
17regions <-
matrix(scan("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU//Masteroppgave/Data/WI/felt.asc
",skip=6),1550,1195, byrow=T)
18#image(catchments)
19regions[regions===9999] <- NA
20
21
22#
23if (id ==1){dtype<-"tm"}else
24  if (id ==2){ dtype<-"rr"}
25
26# Ordner diverse til utputt-filene
27hdr<- paste("Catch_",seq(0,56,1), sep="")
28
29filename <- "temp3.out"
30write.table(t(hdr), file = filename, quote = FALSE, sep = "\t ",row.names
= FALSE,col.names = FALSE )
31
32
33# Lister opp klimadata
34climfile<- list.files(path = "E:/Tempdata", pattern = "*.asc",
35                      all.files = TRUE,full.names = TRUE, recursive=TRUE)
36#tempdata=read.asciigrid(climfile[j])
37#image(tempdata)
38
39# For-løkke for den rekken av klimadata som skal tas inn i studiet.
40# I dette tilfellet perioden fra 1.1.1961 til 31.12.1990
41for (j in 1620:length(climfile)){
42
43  Next.climfile <- climfile[j]
44  nl<-nchar(Next.climfile)
45
46  # Ta ut dato
47  day<-as.character(substr(Next.climfile,nl-5,nl-4))
48  month<-as.character(substr(Next.climfile,nl-8,nl-7))
```

```

49 year<-as.character(substr(Next.climfile,nl-13,nl-10))
50 date_new <- paste(day,month,year,sep="-")
51
52
53 climdata <- matrix(scan(Next.climfile,skip=6),1550,1195, byrow=T)
54
55
56 climdata[climdata>=10000] <- NA
57 climdata[climdata==--9999] <- NA
58
59 # OBS!Klimadata er multiplisert med 10 i rådata
60 # og temperatur er oppgitt i Kelvin
61
62 # for temperatur
63 if (id ==1){climdata<-climdata/10-273.2}else
64
65 # for nedbør
66 if (id ==2) {climdata<- climdata/10}
67
68
69 # Finner gjennomsnittsverdiene av klimadata for hvert av nedbørsfeltene
70 zs = ZonalStat(climdata,regions,FUN='mean')
71
72 data_frame <- round(t(zs$mean),digits=3)
73 #data_frame.num=as.numeric(data_frame_work)
74
75 # For store felt med delfelt som egne felt i studie må disse tas inn
ved omregninger som under.
76 #Verdalsvassdraget
77
data_frame[,44]=round(((176/881)*(data_frame[,32])+(705/881)*(data_frame[,4
4])),digits=3)
78
data_frame[,45]=round(((96/483)*(data_frame[,29])+(387/483)*(data_frame[,45
])),digits=3)
79 #Namsen
80
data_frame[,52]=round(((702/1038)*(data_frame[,25])+(336/1038)*(data_frame[
,52])),digits=3)
81
data_frame[,4]=round(((120/1774)*(data_frame[,11])+(14/1774)*(data_frame[,9
])+ (64/1774)*(data_frame[,38])+(1038/1774)*(data_frame[,52])+(538/1774)*(da
ta_frame[,4])),digits=3)
82
data_frame[,33]=round(((427/852)*(data_frame[,35])+(425/852)*(data_frame[,3
3])),digits=3)
83 #Stjørdalsvassdraget
84
data_frame[,21]=round(((184/532)*(data_frame[,20])+(348/532)*(data_frame[,2
1])),digits=3)
85
data_frame[,27]=round(((532/819)*(data_frame[,21])+(97/819)*(data_frame[,28
])+ (190/819)*(data_frame[,27])),digits=3)

```



```

86
data_frame[,43]=round(((495/1874)*(data_frame[,42])+(819/1874)*(data_frame[
,27])+(560/1874)*(data_frame[,43])),digits=3)
87
88 #Skrive om til bokstaver
89 #data_frame=as.character(data_frame.num)
90
91 #date_frame <- rbind(date_frame,date_new)
92 data_frame <- cbind(date_new, data_frame)
93
94 # Skriver tabell med daglige klimadata for hvert felt
95 write.table(data_frame, file =filename, append = TRUE, quote = FALSE,
sep = "\t ", row.names = FALSE,col.names = FALSE, )
96}

```

## G.3 PET\_WI.r

```
1 ##
2 ## Erlend april 2014 - PET_WI.r
3 ## Utregning av PET og deretter WI for alle felt
4 ## Original: Mulugeta B. Zelelew, NTNU
5 # =====
6 #
7 # Setter arbeidskatalog og tar inn R-pakkene som trengs
8
9 library("hydroTSM")
10library(fields)
11library(SPEI)
12library(zoo)
13setwd("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/WI")
14
15# Leser inn data fra scriptet Klimadata_for_felt.r
16# Daglige data for alle nedbørsfelt
17daily.temp <- read.table("temp.out",header =TRUE, sep = "")
18names(daily.temp) <- paste("Catch_",seq(0,56,1), sep="")
19
20daily.precip <- read.table("precip.out",header =TRUE, sep = "")
21names(daily.precip) <- paste("Catch_",seq(0,56,1), sep="")
22
23# Ta vare på datoene for dataene for strukturering
24#daily.tp.date <- as.Date(daily.temp[,1],"d-%m-%YYY")
25daily.tp.date = as.Date(row.names(daily.temp), "d-%m-%Y")
26
27# Strukturerer data som daglig tisdatseserie
28daily.temp.zoo <- zoo(daily.temp, daily.tp.date)
29daily.precip.zoo <- zoo(daily.precip, daily.tp.date)
30
31# Gjør om til månedlige verdier. Snitt av temperatur og akkumulert
nedbør.
32temp.monthly <- daily2monthly(daily.temp.zoo, FUN=mean, na.rm=TRUE)
33precip.monthly <- daily2monthly(daily.precip.zoo, FUN=sum, na.rm=TRUE)
34
35# Trenger bredddegrad for utregning av PET.
36catch.coords <-
read.table("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/Alle
felt.txt",header =TRUE, sep = "")
37catch.latitude <- catch.coords[,6]
38catch_name <- names(temp.monthly)
39
40# Regner ut månedlige verdier for PET ved funksjonen thornthwaite.
Skriver filer med
41# månedlige fordampings-(PET) og nedbørsverdier.
42Catch.num <- ncol(temp.monthly)
43for (i in 1:Catch.num){
44 #Next.catch <- i
45 PET.tho <- thornthwaite(temp.monthly[,i],catch.latitude[i])
46 PET_out <- as.data.frame(zoo(PET.tho, time(temp.monthly)))
47 #names(PET_out) <- c("Date","PET_tho")
```

```

48 #
49 monthly_precip <- zoo(precip.monthly[,i], time(temp.monthly[,i]))
50
51 write.table(PET_out,
paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/WI/thorn_data/PET/
",catch_name[i],".out",sep=""),quote = FALSE, col.names=FALSE)
52 write.table(monthly_precip,
paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/WI/thorn_data/Prec
ip/",catch_name[i],".prc",sep=""),quote = FALSE, col.names=FALSE)
53
54}
55#
56# Kodene under gjør om fordampings- og nedbørsverdier fra månedlige data
til årlige data.
57output <- "PET_annual.txt"
58output2 <- "PRECIP_annual.txt"
59fout <- file(output, "w")
60fout2 <- file(output2, "w")
61#
62PET_files<-
list.files("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/WI/thorn_data
/PET/", pattern="*.out")#, all.files = TRUE,full.names = TRUE)
63Precip_files<-
list.files("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/WI/thorn_data
/Precip/", pattern="*.prc")#, all.files = TRUE,full.names = TRUE)
64#PET_files_1 <- PET_files[1]
65nc <- length(PET_files)
66for (j in 1:nc){
67 Next_PET_file <-
read.table(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/WI/thor
n_data/PET/",PET_files[j],sep=""), header=FALSE)
68 PET_next <- zoo(Next_PET_file[,2], time(temp.monthly))
69 daily2annual1 <- monthly2annual(PET_next,FUN=sum, na.rm=TRUE)
70 annual_average <- mean(daily2annual1)
71 cat(paste(c(PET_files[j], annual_average)), file =fout)
72 cat("\n",file=fout)
73
74 #
75 Next_PRECIP_file <-
read.table(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/WI/thor
n_data/Precip/",Precip_files[j],sep=""), header=FALSE)
76 PRECIP_next <- zoo(Next_PRECIP_file[,2], time(temp.monthly))
77 daily2annual2 <- monthly2annual(PRECIP_next,FUN=sum, na.rm=TRUE)
78 annual_average2 <- mean(daily2annual2)
79 cat(paste(c(Precip_files[j], annual_average2)), file =fout2)
80 cat("\n",file=fout2)
81}
82closeAllConnections()
83
84
85# Tar inn de årlige verdiene og regner ut WI på dette grunnlaget og
skriver til fil.
86output3 = "WI.txt"

```

```
87fout3 <- file(output3, "w")
88PET=read.table("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/WI/PET_
annual.txt")
89Precip=read.table("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/WI/P
RECIP_annual.txt")
90for (j in 1:nrow(PET)){
91  WI=(Precip[j,2])/(PET[j,2])
92  cat(paste(c(PET_files[j], WI)), file =fout3)
93  cat("\n",file=fout)
94}
95closeAllConnections()
```

## G.4 dist\_corr.r

```
1 ## Erlend april 2014
2 ##
3 # dist_corr.r - Script som finner avstand mellom feltene, korrelasjon
mellom vfseriene
4 # og forbereder input for kriging-scriptet. Romlig analyse.
5
6 setwd("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/dist_corr/")
7 library("fields")
8 library("Kendall")
9 library(lattice)
10 rm(list=ls())
11 graphics.off()
12
13 # Steg 1: Lese inn koordinattabell fra GIS og vannføringsdata fra
Qdata.r
14 koord =
read.table("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/Ref-
felt_Attable.txt", header = T)
15 Q_inn =
matrix(scan("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/Q_ref_felt.t
xt", skip=1), 35430, 36, byrow=T)
16 Q = Q_inn[,2:36]
17
18 # Kan evt. se på data og plote hydrogram for å sikre at alt er oK
19 # view(koord)
20 # view(Q)
21 # plot(as.ts(Q[,1]))
22
23
24 # Steg 2: Klargjøre utputt fra scriptet. Gir navn på utputt-filer og åpne
dem for skriving
25
26 output <- "rdist.txt"
27 fout<- file(output, "w")
28 output1 <- "corr_out_updated.txt"
29 fout1 <- file(output1, "w")
30
31 # Steg 3: Finne distansen for alle par av referansefelt og skrive til
filen definert i steg 2
32
33 nr_felt = 35
34 for (i in 1:nr_felt){
35   koord_1 = koord[i,7:8]
36
37   for (j in 1:nr_felt){
38     koord_2 = koord[j,7:8]
39     rdist = dist(rbind(koord_1, koord_2), method="euclidean")
40     cat(paste(c(i,j,round(rdist,digit =3))),file =fout, sep=",")
41     cat("\n",file=fout)
42   }
43 }
```

```

44 close(fout)
45
46 # Steg 4: Finne korrelasjonen mellom vannføringsdataene, altså
primærvariabelen
47 #         Kendall's tau for alle par av referansefelt. Mye data gjør
dette tidkrevende.
48 #         Skriver verdiene til filen definert i steg 2 (fout1 i mitt
tilfelle).
49 #         OBS: For ikke-overlappende dataserier vil utputten bli tau =
1. Dette blir behandlet i steg 5.
50 nr_felt = 35
51 for (ii in 1:nr_felt){
52   Q_1 <- Q[1:35430,ii] #Fra 1916 til i dag
53
54   for (jj in 1:nr_felt){
55     Q_2 <- Q[1:35430,jj]
56     Q_Kendall <- Kendall(Q_1, Q_2)
57     cat(paste(c((ii-1),(jj-1), Q_Kendall)),file =fout1, sep=",")
58     cat("\n",file=fout1)
59   }
60 }
61
62 close(fout1)
63
64 # Steg 5: Kode for å samle de to filene med distanser og korrelasjon i
samme fil
65
66 fout <- read.table("rdist.txt",sep=",");
67 fout1 <- read.table("corr_out_updated.txt", sep = ",");
68 # Her må korrelasjonsverdiene manipuleres slik at ikke-overlappende
serier får verdi NA
69 tau=fout1[,3]
70 tau[tau==1]=NA
71 for( i in seq(1,1225,36)){
72   tau[i]=1
73 }
74 fout2 <- cbind(fout[,1:3], tau);
75 write.table(fout2,"rdist_corr_updated.txt", quote = F, col.names =
c("Ref_Catch", "Corr_Catch","Dist. ","Corr."),row.names =F,
76       sep=",")
77
78 # Steg 6: Klargjør strukturen for korrelasjonsdata for kriging for alle
felt separat.
79 #         Plotter korrelasjon mot distanse for alle felt samtidig.
80
81 plot_data <-read.table("rdist_corr_updated.txt",header = T, sep =",")
82 coords <-
read.table("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/Ref-
felt_Attable.txt",header = T, sep = "")
83
84 par(mfrow = c(2,3),mar = c(3,3,3,2)) # Bestemmer hvordan plottene skal
organiseres
85

```

```

86 fout4 <-
file(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/dist_corr/RSQ
.txt"), "w")
87 fout5 <-
file(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/dist_corr/cor
r_cluster.txt"), "w") # file for cluster analysi
88
89 for(i in seq(1, 35, 1)){
90   gauge.i <- i
91   fout3 <-
file(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/dist_corr/Cat
ch_corr/", "Catch_", gauge.i, sep=""), "w")
92   sel <- plot_data$Ref_Catch == gauge.i
93   plot_data1 <- plot_data[sel,] # for plotting
94   plot_data2 <- plot_data[sel, 4] # for inputt til kriging
95   write.table(cbind(coords[, 7:8], plot_data2), fout3, quote = F,
96               col.names = c("x_Coord", "y_Coord", "corr"), row.names = F,
sep=" ")
97   plot(plot_data1[, 3:4], main = paste("Catch_", gauge.i), font.main= 3,
cex=2, cex.axis=1.5, cex.main = 1.5, pch=21,
98         xlab = "Dist.", ylab = "Corr.")#, xlim=c(0, 100), ylim=c(0.5, 1))
99   lm_model <- lm(plot_data1[, 4] ~ plot_data1[, 3])
100  abline(fit <- (lm_model), col="blue", lwd=2)
101  legend("bottomleft", bty="n", legend=paste("R2 = ",
102
format(summary(fit)$adj.r.squared, digits=2)), cex = 1.5)
103  cat(paste(c(paste("catch_", gauge.i, sep=""),
round(summary(fit)$adj.r.squared, digits=1))), file =fout4, sep=",")
104  cat("\n", file=fout4)
105  cat(paste(c(paste("catch_", gauge.i, sep=""), round(plot_data2,
digits=3))), file =fout5, sep=",")
106  cat("\n", file=fout5)
107  grid()
108  close(fout3)
109}
110close(fout4)
111close(fout5)
112##

```

## G.5 covar.r

```
1  ## Erlend april 2014
2  ## covar.r - Script for å lese inn, strukturere, normalisere og skrive
   filer for kovariabler til ko-kriging(OcK)
3  ## OBS: Scriptet bør kjøres 2 ganger. En for kun referansefelt til
   mappen Tau og en med NTE-felt inkludert til mappen Covariables
4  ## Dette er pga scriptet for ko-kriging
5  setwd("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/Tau/")
6  #
   setwd("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/Covariables/")
7  library("fields")
8  library("Kendall")
9  library(lattice)
10 rm(list=ls())
11 graphics.off()
12 ## Lage tabell med FID, koordinater, Cr, Rr, Dd, TWI, WI.
13 ## OBS: WI-data er laget slik 'alfabetisk' det vil si at catch_10 kommer
   før catch_2 til catch_9 osv.
14
15
   atrtab=read.table("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/Alle
   felt.txt", header=TRUE)
16
   atrtab1=read.table("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/Feltp
   arametre.txt", header=TRUE)
17
   TWI_NTE=read.table("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/Covar
   iables/TWI_NTE-felt.txt", header=TRUE)
18
   TWI_NVE=read.table("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/Covar
   iables/TWI_NVE-felt.txt", header=TRUE)
19 TWI=rbind(TWI_NTE,TWI_NVE)
20
   WI=read.table("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/Covariab
   les/WI.txt")
21
   Cr=(atrtab[,3])/(atrtab[,4])
22 Rr=(atrtab1[,8]/atrtab[,4])
23 Dd=(atrtab1[,12])
24 Dd[Dd==0]=NA
25 TWI=(TWI[,6])
26 # Må fikse rekkefølgen på WI-data
27
28
   WI_rev=c(WI[1:2,2],WI[13,2],WI[24,2],WI[35,2],WI[44:48,2],WI[3:12,2],WI[14:
   23,2],WI[25:34,2],WI[36:43,2])
29 WI=(WI_rev)
30
31 # Binder alle variablene sammen i en tabell
32 covar=cbind(atrtab[,1], atrtab[,7], atrtab[,8], Cr, Rr, Dd, TWI, WI)
33
34
35 #####
```



```

36 ## Normalisere ko-variablene iht ordinær ko-kriging
37 Cr_Norm=(Cr-min(Cr))/((max(Cr))-min(Cr))
38 Rr_Norm=(Rr-min(Rr))/((max(Rr))-min(Rr))
39 Dd_Norm=(Dd-min(Dd, na.rm=TRUE))/((max(Dd, na.rm=TRUE))-min(Dd,
na.rm=TRUE))
40 TWI_Norm=(TWI-min(TWI))/((max(TWI))-min(TWI))
41 WI_Norm=(WI-min(WI))/((max(WI))-min(WI))
42
43 covar_norm=cbind(atrtab[,1], atrtab[,7], atrtab[,8], Cr_Norm, Rr_Norm,
Dd_Norm, TWI_Norm, WI_Norm)
44
45 #output <- "covar.txt"
46 #fout<- file(output, "w")
47 #output1 <- "covar_norm.txt"
48 #fout1 <- file(output1, "w")
49
50 #write.table(covar,file=fout, quote = F, col.names = c("FID",
"x","y","Cr","Rr","Dd","TWI","WI"),row.names =F, sep=",")
51 #write.table(covar_norm, file=fout1, quote = F, col.names = c("FID",
"x","y","Cr","Rr","Dd","TWI","WI"),row.names =F, sep=",")
52
53
54 output <- ("Euclidean_dist.txt")
55 fout<- file(output, "w")
56
57 nr_felt <- 48
58 for (i in 1:nr_felt){
59   dist_1 <- covar[i,2:3]
60   for (j in 1:nr_felt){
61     dist_2 <- covar[j,2:3]
62     rdist <- dist(rbind(dist_1, dist_2), method="euclidean")
63
64     cat(paste(c(i,j,round(rdist,digit =3))),file =fout, sep=",")
65
66     cat("\n",file=fout)
67
68   }
69 }
70 close(fout)
71
72 output1 <- "Simcoeff_cov.txt"
73 fout1 <- file(output1, "w")
74
75 nr_felt <- 48
76 for (ii in 1:nr_felt){
77   cov_1 <- covar_norm[ii,4:8]
78
79   for (jj in 1:nr_felt){
80     cov_2 <- covar_norm[jj,4:8]
81
82     #
83     SimCoeff <- 1- abs((cov_1 - cov_2))
84

```

```

85
86     cat(paste(c((ii), (jj)), round(SimCoeff,digits = 3))),file =fout1,
sep=", ")
87
88
89     cat("\n",file=fout1)
90
91   }
92 }
93 #
94 close(fout1)
95
96 # Leser inn tabell med distanse for alle felt
97 dist <- read.table("Euclidean_dist.txt",sep=", ")
98
99 # Leser inn tabell med tau. Denne har verdi kun for ref-feltene.
100corr <-
read.table("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/dist_corr/rdi
st_corr_updated.txt",header=TRUE,sep = ", ")
101corr=cbind(corr[,1:2],corr[,4])
102# Må derfor sette inn NA-verdier for alle NTE-feltene i en litt
komplisert og udelikat operasjon:
103
104final=matrix(nrow=13, ncol=3)
105colnames(final)=colnames(corr)
106na.i=matrix(nrow=13, ncol=3)
107colnames(na.i)=colnames(corr)
108for(i in seq(1,1225,35)){
109  corr.i=corr[i:(i+34),]
110  corr1=rbind(corr.i, na.i)
111  final=rbind(final, corr1)
112}
113no_corr=matrix(nrow=(13*48), ncol=3)
114colnames(no_corr)=colnames(corr)
115corr=rbind(no_corr, final)
116corr=corr[1:2304,]
117corr=as.data.frame(corr)
118
119# Simcoeff for alle ko-variable
120cov <- read.table("Simcoeff_cov.txt",header = FALSE,sep=", ")
121fout3 <- cbind(dist[,1:3],corr[,3], cov[,3:7])
122write.table(fout3,"Euclidean_cov_corr.txt", quote = F, col.names =
c("Ref_Catch",
"Corr_Catch","Dist.,","CORR","SimCoeff.Cr","Rr","Dd","TWI","WI"),row.names
=F, sep=", ")
123
124# Strukturere alle data for ko-kriging ved å skrive til enkelte filer
for hvert felt:
125plot_data <-read.table("Euclidean_cov_corr.txt",header = T, sep =", ")
126coords <- covar[1:48,2:3]
#read.table("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/kartdata/Catch_
corr/Catch_1",header = T, sep =", ")
127

```

```

128 for(i in seq(1,48,1)){
129   gauge.i <- i
130   fout5 <-
file(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/Covariables/"
,"tar_catch_",gauge.i,sep=""), "w")
131   sel <- plot_data$Ref_Catch == (gauge.i)
132   #plot_data1 <- plot_data[sel,] # for plotting
133   plot_data2 <- plot_data[sel,4:9] # for geoR input
134   count <- seq(1,48,1)
135   write.table(cbind(count, coords[,1:2],plot_data2),fout5,quote = F,
136               col.names =
c("","x","y","CORR","SimCoeff.Cr","Rr","Dd","TWI","WI"),row.names =F,
sep=","")
137
138   close(fout5)
139}

```

## G.6 OK.r

```
1 ## Erlend april 2014
2 ## Kriging av vannføringskorrelasjonsvariabelen tau for Nord-Trøndelag
3
4 # Setter arbeidskatalog og tar inn R-pakkene som trengs
5 setwd("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/OK/")
6 rm(list=ls())
7 graphics.off()
8 library("fields")
9 library(geoR)
10 library(scatterplot3d)
11 library(maptools)
12 library(automap)
13 options(geoR.messages =F)
14
15 ##
16 ##
17 ##
18
19 fdata <-
list.files("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/dist_corr/Cat
ch_corr/",pattern ="Catch_*.*)"
20 output <- "vario_param_exp.txt"
21 fout<- file(output, "w")
22
23 ## Det utføres kriging for hvert referansefelt. Starter derfor for-
løkken her.
24
25 for (i in 1:length(fdata)){
26   graphics.off()
27   Next.fdata <- fdata[i]
28   corr_catch <-
read.geodata(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/dist_
corr/Catch_corr/",Next.fdata,sep=""), header=T)
29
#el.border_explor=read.table("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgav
e/kartdata/OK/study_border.txt")
30   el.border <-
readShapePoly("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/kartdata/stud
y_basin.shp", proj4string=CRS("+proj=utm +zone=33 +datum=WGS84"))
31   el.border1 <- (el.border@polygons[[1]]@Polygons[[1]]@coords)
32   #el.border2 <- (el.border@polygons[[2]]@Polygons[[4]]@coords)
33   #el.border3 <- (el.border@polygons[[3]]@Polygons[[4]]@coords)
34   #el.border4 <- (el.border@polygons[[4]]@Polygons[[4]]@coords)
35
36   # Lager til en tabell med koordinatene for NTE-feltene som skal
undersøkes
37   pred_grid_corr <-
read.table("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/kartdata/OK/NTE-
felt_coords.txt", header =T)
38   pred_grid_corr = pred_grid_corr[,2:3]
39
40   # Plotter oversikt over korrelasjonsdata for feltet for kontroll
41   plot(corr_catch, border=el.border1,lowess = T)
42   title(main = paste("Explor_",Next.fdata,sep=""))
43   ##
44   par(mfrow=c(1,2))
45   hist(corr_catch$data, main="Original data", xlab="Catch_corr")
```

```

46 hist(log(corr_catch$data), main="Transformed data",
xlab="log(Catch_corr)")
47
48 # Empiriske variogram
49 ##
50 # Lager til empiriske variogram med ulike estimatorer og med både sky og
"bins".
51 # Her kan det gjøres tilpasninger, slik det står nå er 'default'
52 cloud1 <- variog(corr_catch, option="cloud", max.dist="all",
bin.cloud=T)
53 cloud2 <- variog(corr_catch, option="cloud", estimator.type="
modulus", max.dist="all", bin.cloud=T)
54 #bin1 <- variog(corr_catch, uvec=seq(0,350000, by=25000))
55 bin1=variog(corr_catch, option="bin")
56 #bin2 <- variog(corr_catch, uvec=seq(0,350000, by=25000),
estimator.type="modulus")
57 bin2=variog(corr_catch, option="bin", estimator.type="modulus")
58 par(mfrow=c(2,2))
59 plot(cloud1, main="classical estimator", xlab="distance (m)")
60 plot(cloud2, main="Modulus estimator", xlab="distance (m)")
61 plot(bin1, main="classical estimator", xlab="distance (m)")
62 plot(bin2, main="Modulus estimator", xlab="distance (m)")
63 ##
64 # Velger et av variogrammene og plottes sammen med 4-retningers
variogram
65 # Variogram tar med all data og deler det inn i fire akser. 0 grader
er loddrett ser det ut til.
66 corr.vario <- variog(corr_catch, option="bin")
67 # variogram in four directions
68 vario.4 <- variog4(corr_catch, option="bin")
69 par(mfrow=c(1,2))
70 plot(corr.vario, xlab="distance (m)")
71 plot(vario.4, xlab="distance (m)", lwd=2)
72 ##
73
74 # Automatisk tilpasning av variogram
75 # Dette kan gjøres for enkelhets skyld. Lar automatisk tilpassing
76 # bestemme parametrene i variogram-modellen.
77
78 corr_catch.sp <-
read.table(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/dist_co
rr/Catch_corr/", Next.fdata, sep=""), header=T)
79 corr_catch.sp=corr_catch.sp[complete.cases(corr_catch.sp),]
80 coordinates(corr_catch.sp)=c("x_Coord", "y_Coord")
81 avgm=autofitVariogram(formula=corr~1, input_data=corr_catch.sp,
model=c("Sph", "Exp", "Gau", "Mat"), kappa=0.5)
82 # avgm er automatisk tilpasset variogram for input på parametre
83 pred.grid.sp=pred_grid(c(105000, 565000), c(6905000, 7485000), by=5000)
84 coordinates(pred.grid.sp)=c("Var1", "Var2")
85 akcm=autoKrige(formula=corr~1, input_data=corr_catch.sp,
new_data=pred.grid.sp, model=c("Sph", "Exp", "Gau", "Mat"), kappa=0.5)
86 plot(akcm)
87 # akcm har da gjort en romlig interpolasjon (kriging) og det plottes
for kontroll
88 # Tilrettelegger for input i modellen:
89 model_type=akcm$var_model[2,1]
90 sill=akcm$var_model[2,2]
91 nugget=akcm$var_model[1,2]
92 range=akcm$var_model[2,3]
93

```

```

94 # Funksjonen likfit lager variogram-modellen tilpasset
korrelasjonsdata for feltet
95 # Denne bør tilpasses best mulig, også ved visuell inspeksjon. I dette
studiet er
96 # den automatiske tilpasningen brukt.
97 ml <- likfit(corr_catch, ini.cov.pars = c(sill, range), fix.nugget =
FALSE, nugget = nugget,
98           fix.kappa = TRUE, kappa = 0.5, fix.lambda = TRUE, lambda
= 1, fix.psiA = TRUE, psiA = 0,
99           fix.psiR = TRUE, psiR = 1, cov.model ="gaussian",
lik.method = "ML", limits = pars.limits(phi=c(4000, 350000)))
100
101 # 'Variogram envelopes'
102 # Plotter to forskjellige 'envelopes' for sammenligning av
modellen(siste) med faktiske data
103 # Kodene for å tillegge 'lines' for den tilpassede modellen, ml, er
gitt.
104 # Parametrene må endres etter den modellen for hvert felt.
105 env.mc <- variog.mc.env(corr_catch, obj.var = bin1)
106 env.model <- variog.model.env(corr_catch, obj.var = bin1, model = ml)
107 par(mfrow = c(1,3))
108 plot(variog(corr_catch, option="bin"))
109 #lines.variomodel(cov.model ="exponential", cov.pars = c(0.0272,
200000),max.dist=350000,
110 #nug =0.0178, lwd = 1, col="red")
111
112 #lines.variomodel(cov.model ="spherical", cov.pars = c(0.0181,
200000),max.dist=350000,
113 #nug = 0.0172, lwd = 2)
114
115 #lines.variomodel(cov.model ="matern", cov.pars = c(0.0944,
200000),max.dist=350000,
116 #nug = 0.0402, kappa = 0.5, lwd = 3,col="green")
117
118 #lines.variomodel(cov.model ="gaussian", cov.pars = c(0.0318,
200000),max.dist=350000,
119 #nug = 0.0203, lwd = 4)
120 #legend("topleft",c("exp", "sph", "mat", "gau"), lwd = c(1,2,3,4))
121
122 plot(bin1, envelope = env.mc)
123 # title( main = paste(Next.fdata))
124 plot(bin1, envelope = env.model)
125
126 #lines.variomodel(cov.model ="exponential", cov.pars = c(0.0272,
200000),max.dist=350000,
127 #nug =0.0178, lwd = 1, col="red")
128
129 #lines.variomodel(cov.model ="spherical", cov.pars = c(0.0181,
200000),max.dist=350000,
130 #nug = 0.0172, lwd = 2)
131
132 #lines.variomodel(cov.model ="matern", cov.pars = c(0.0944,
200000),max.dist=350000,
133 #nug = 0.0402, kappa = 0.5, lwd = 3,col="green")
134
135 #lines.variomodel(cov.model ="gaussian", cov.pars = c(0.0318,
200000),max.dist=350000,
136 #nug = 0.0203, lwd = 4)
137 #
138
139 ## 5. Kriging og kryss-validering

```

```

140
141 # Kriging etter den tilpassede modellen
142 kcm <- krige.control(type = "ok", obj.mod = ml)
143
144 # Kryssvalidering ved kriging: For å sammenligne tau-verdiene med hva
som blir
145 # predikert av kriging-metoden. Gjøres ved å utelate ett og ett data
for å
146 # predikere ved hjelp av modellen. Den andre, hvor reest=TRUE, endrer
parametrene.
147 # Plottes for kontroll. Bør ikke være for store residualer.
148 xv.ml <- xvalid(corr_catch, model = kcm)
149 xvR.ml <- xvalid(corr_catch, model = kcm, reest = TRUE)
150
151 par(mfcol = c(5,2), mar = c(3,3,1,0.5), mgp = c(1.5,0.7,0))
152 plot(xv.ml)
153 plot(xvR.ml)
154
155 # Bruker kriging til å estimere punktene til NTE-feltene
156 sk.loci <- krige.conv(corr_catch, krige = kcm, loc = pred_grid_corr)
157
158 # Kriging for estimering for punkter i hele området med 5 km
oppløsning
159 apply(el.border1, 2, range)
160 pred.grid <- pred_grid(c(105000, 565000), c(6905000,7485000), by=5000)
161 sk.grid <- krige.conv(corr_catch, krige = kcm, loc = pred.grid)
162
163 # Skriver kart med korrelasjonsprediskjonene for hele området
164
bmp(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/OK/Catch_map/"
,Next.fdata,"_final.bmp",sep=""),width =400, height=500)
165 image(sk.grid, border=el.border1,xlim = c(100000, 570000), ylim=
c(6900000,7500000), main =
paste("Pred_map_",Next.fdata,sep=""),xlab="X_Coord (m)", ylab="Y_Coord
(m)",panel.first = grid(),col=terrain.colors(20, alpha = 1),asp=1)
166 contour(sk.grid, add = TRUE,border=el.border1, xlim = c(100000,
570000), ylim= c(6900000,7500000), drawlabels = TRUE)
167 dev.off()
168
169 # Skriver plott med sann og predikert tau-verdi for de 34 andre ref-
feltene
170
jpeg(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/OK/Catch_map/"
,"xv_",Next.fdata,".jpg",sep="))
171 plot(corr_catch$data, xv.ml$predicted, main =
paste("xv_",Next.fdata,sep=""),xlab = "catch_corr", ylab =
"predicted_catch_corr")
172 #Add 45-degree line to the scatter plot
173 abline(0,1)
174 dev.off()
175
176 # Avslutter med p skrive tabeller med kryssvalideringsresultater,
prediksjoner for NTE-posisjoner,
177 # og oppsummering av variogram-modellen.
178 # OBS: nrow i out_xv må være korrekt antall data i studien for hvert
felt. Altså må
179 # feltene med tau=NA trekkes fra totale antall felt.
180 out_xv <- matrix(round(c(corr_catch$coords, corr_catch$data,
xv.ml$predicted, xvR.ml$predicted),
181 digits =3),nrow = 35, ncol =5)

```

```

182 out_variogram <- matrix(round(c(bin1$u, bin1$v, bin1$n, bin1$sd,
bin1$bins.lim[2:(length(bin1$u)+1)]), digits =3), ncol =5)
183
184 write.table(out_xv, file=
paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/OK/xv_results/", "x
v_", Next.fdata, ".txt", sep=""), quote =FALSE, sep = ",", col.names = c("X-
Coord", "Y_Coord",
185
>Data", "XV_one_leave_out", "XV_reestimate"), row.names=F, qmethod ="double")
186 write.table(cbind(pred_grid_corr, sk.loci$predict, sk.loci$krige.var),
file =
paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/OK/xv_results/", "l
oci_", Next.fdata, ".txt", sep=""), quote =FALSE, sep = ",", col.names = c("X-
Coord", "Y_Coord",
187
"Predicted", "Variance"), row.names=F, qmethod ="double")
188 write.table(out_variogram, file =
paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/OK/Npairs/", "Npair
s_", Next.fdata, ".txt", sep=""), quote =FALSE, sep = ",", col.names =
c("Sep.Dist.", "Variance",
189
"No.Pairs", "Sd", "Bin.Limits"), row.names=F, qmethod ="double")
190 cat(paste(c(Next.fdata, ml$cov.model, ml$tausq, ml$sigmasq, ml$phi)), file
=fout, sep=",")
191 cat("\n", file=fout)
192 graphics.off()
193 ##
194}
195close(fout)

```



## G.7 OcK.r

```
1 ## Erlend april 2014
2 ## OcK.r - Script for ko-kriging (OcK=Ordinary co-Kriging)
3 # =====
4 ##
5 setwd("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/OcK/")
6
7 library(gstat)
8 library(lattice)
9 library(sp)
10 library(geoR)
11 library(maptools)
12 library(grDevices)
13 library(gridExtra)
14 library(ggplot2)
15 library(gridExtra)
16 library(automap)
17
18 #rm(list=ls())
19 #graphics.off()
20 ##
21 # 1. Inputt
22 covar <- "Dd"
23 model_type <- "auto"
24 fs_out <-
file(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/OcK/", covar, "
_fs_corr.txt", sep=""), "w")
25 vario_out <-
file(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/OcK/", covar, "
_", model_type, "_covar_param.txt", sep=""), "w")
26
27 # Starter analysen for hvert av feltene
28 for(i in seq(1, 11, 3)){
29
30   Next.fdata_t <- paste("tar_catch_", i, sep=""); Next.fdata_cov <-
paste("tar_catch_", i+13, sep="")
31   gsdata.corr <-
read.table(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/Tau/", N
ext.fdata_cov, sep=""), sep = ",",
32           header =TRUE)
33   gsdata.corr <- gsdata.corr[!(is.na(gsdata.corr[,4])),] # Ta vekk
radene med NA for tau
34
35   gsdata.extra <-
read.table(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/Covaria
bles/", Next.fdata_cov, sep=""), sep = ",", header =TRUE)
36
37   gsdata.corr[gsdata.corr < 0.0] <- 0
38   gsdata.extra[gsdata.extra < 0.0] <- 0
39
40   pred.grid.1 <- pred_grid(c(105000, 565000), c(6905000, 7485000),
by=5000)
41   names(pred.grid.1) <- c("x", "y")
42
43   coordinates(gsdata.corr) <- c("x", "y")
44   coordinates(gsdata.extra) <- c("x", "y")
45   coordinates(pred.grid.1) <- c("x", "y")
46
47   # Kartfil inn for å koordinatfeste studieområdet
```

```

48  el.basin <-
readShapePoly("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/kartdata/stud
y_basin.shp", proj4string=CRS("+proj=utm +zone=33 +datum=WGS84"))
49  #el.basin1 <- (el.basin@polygons[[1]]@Polygons[[1]]@coords)/1000
50  #el.basin2 <- (el.basin@polygons[[2]]@Polygons[[1]]@coords)/1000
51  #el.basin3 <- (el.basin@polygons[[3]]@Polygons[[1]]@coords)/1000
52  #el.basin4 <- (el.basin@polygons[[4]]@Polygons[[1]]@coords)/1000
53  #el.basin5 <- (el.basin@polygons[[5]]@Polygons[[3]]@coords)/1000
54  el.basin1=(el.basin@polygons[[1]]@Polygons[[1]]@coords)
55
56  # Study region boundary
57  el.border=el.basin1
58
59  pred_grid_corr <-
read.table("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/Alle
felt.txt", header =T)
60  pred_grid_corr = pred_grid_corr[1:13,7:8]
61  names(pred_grid_corr)=c("x","y")
62  coordinates(pred_grid_corr)=c("x","y")
63
64  # 2. Variogram modell for hovedvariabelen tau
65
66  v.corr <- variogram(CORR ~ 1, data=gsdata.corr, cutoff = 250000)
67  # Estimering av variogrammodell-parametre ved funksjonen likfit.
68  # Bruk parametrene og modelltype fra OK.r scriptet som initielle
verdier.
69  x <- cbind(gsdata.corr@coords, gsdata.corr@data$CORR)
70  x <- as.geodata(x)
71  ml <- likfit(x, ini.cov.pars = c(0.02, 95000), fix.nugget = FALSE,
nugget = 0.002,
72          fix.kappa = FALSE, kappa = 0.5, fix.lambda = TRUE, lambda
= 1, fix.psiA = FALSE, psiA = 0,
73          fix.psiR = TRUE, psiR = 1, cov.model = "spherical",
lik.method = "ML", limits = pars.limits(phi=c(0, 20000)))
74
75  psill <- ml$sigmasq
76  rang <- ml$phi
77  nugget <- ml$tausq
78
79  # Lager en variogrammodell med parametrene fra likfit.
80  m.corr <- vgm(psill,"Sph",rang,nugget)
81  plot(v.corr, pl=TRUE, model=m.corr)
82
83  # Tilpasser modellparametrene med 'weighted least-squares'
84
85  m.corr.f <- fit.variogram(v.corr, m.corr, fit.sills = TRUE, fit.ranges
= FALSE)
86  plot(v.corr, pl=TRUE, model=m.corr.f)
87  ##
88
89  ## Ny ordinær kriging med primærvariabelen
90  #
91  # Punktestimering
92  o.k.p <- krige(CORR ~1, locations=gsdata.corr, newdata=gsdata.extra,
model=m.corr.f, nmax = 10)
93  o.k.p_NTE=krige(CORR ~1, locations=gsdata.corr,
newdata=pred_grid_corr, model=m.corr.f, nmax=10)
94  # Hele studieområdet
95  o.k <- krige(CORR ~1, locations=gsdata.corr, newdata=pred.grid.1,
model=m.corr.f, nmax = 10)
96  # Kryssvalidering (leave-one-out)

```

```

97  o.k.cv <- krige.cv(CORR ~1, gsdata.corr, model = m.corr, nmax = 10,
nfold = nrow(gsdata.corr))
98  ####
99  # summary statistikk
100 # summary(o.k)
101 ##
102 # Prosessering av ko-variabler. (Tatt ut i eget script.
Covariables_corr.r)
103 # For valg av ko-variabel som skal inngå i co-kriging, velger den med
best 'feature space' korrelasjon med tau.
104
bmp(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Prosjektoppgave/kartdata/OcK/",co
var,"_",model_type,"_feature_space_oct2013",Next.fdata_t,".bmp",sep=""))
105 attach(as.data.frame(gsdata.corr))
106 plot(gsdata.corr@data$Dd ~ gsdata.corr@data$CORR, pch=1, cex=1.2,
ylab="Dd", xlab="CORR",main = paste(Next.fdata_t,sep=""))
107 fs_corr <- cor(gsdata.corr@data$Dd, gsdata.corr@data$CORR, use =
"complete")
108 fs_fit = lm(gsdata.corr@data$Dd ~ gsdata.corr@data$CORR)
109 abline(fit <- (fs_fit), col = "blue", lwd = 2)
110 legend("bottomright", bty="n", legend=paste("corr = ", format(fs_corr,
digits=2)),cex = 1)
111 dev.off()
112 # Variogram-modell for den romlige strukturen til ko-variabelen
113 v.aux <- variogram(gsdata.extra@data$Dd ~ 1, gsdata.extra)
114
115 x.aux <- cbind(gsdata.extra@coords,gsdata.extra@data$Dd)
116 x.aux <- as.geodata(x.aux)
117
118 # Automatisk tilpassing av variogrammet for ko-variabel og ordinær
kriging
119 avgm=autofitVariogram(formula = Dd ~ 1 ,input_data=gsdata.extra, model
= c("Sph", "Exp", "Gau", "Mat"), kappa=0.5)
120
121 akcm=autoKrige(formula = Dd ~ 1 ,input_data=gsdata.extra,
new_data=pred.grid.1, model = c("Sph", "Exp", "Gau", "Mat"), kappa=0.5)
122 plot(akcm)
123 modeltype=akcm$var_model[2,1]
124 sill=akcm$var_model[2,2]
125 nugget1=akcm$var_model[1,2]
126 range=akcm$var_model[2,3]
127 modeltype
128
129 # Tilpassing på lik måte for kovariabelen som for ordinær kriging av
primærvariabel.
130 ml.aux <- likfit(x.aux, ini.cov.pars = c(sill, range), fix.nugget =
FALSE, nugget = nugget1,
131           fix.kappa = FALSE, kappa = 0.5, fix.lambda = TRUE,
lambda = 1, fix.psiA = FALSE, psiA = 0,
132           fix.psiR = TRUE, psiR = 1, cov.model = "spherical",
lik.method = "ML", limits = pars.limits(phi=c(10, 20000)))
133 # Inputt for vgm()
134 psill.aux <- ml.aux$sigmasq
135 rang.aux <- ml.aux$phi
136 nugget.aux <- ml.aux$tausq
137
138 m.aux <- vgm(psill.aux,"Sph",rang.aux,nugget.aux)
139 (m.aux.f <- fit.variogram(v.aux, m.aux))
140 plot(v.aux, pl=TRUE, model=m.aux.f)
141

```

```

142 ## Bygger opp datastruktur for å kunne utføre ko-kriging siden vi nå
har den romlige strukturen både for
143 # primær- og kovariabel. Modellen for ko-kriging må tilpasses
variogrammene for både primær- og kovariabelen,
144 # men også kryssvariogrammene mellom disse. Den greieste måten å gjøre
dette på er å tilpasse en lineær modell
145 # med funksjonen fit.lmc hvor alle tre modellene har lik type og
'range', men kan ha ulik 'nugget' og 'sill.'
146
147 # Steg 1. Bygger gstat-objekt med 'sample variograms' for primær- og
kovariabel.
148 (g <- gstat(NULL, id = "CORR", formula = CORR ~ 1, data = gsdata.corr,
nmax = 10))
149 (g <- gstat(g, id = "Dd", formula = Dd ~ 1, data = gsdata.extra, nmax
= 10))
150
151 # Finner og viser variogrammene og kryssvariogrammet for kokriging.
152 # Modellen tar utgangspunkt i den tilpassede modellen for
primærvariabelen for å sikre en lineær modell av koregionalisering
153 # og dermed må ha identisk modelltype og range for alle variogrammene.
154 (g <- gstat(g, id = "CORR", model = m.corr.f, fill.all = TRUE))
155 v.cross <- variogram(g, cutoff = 250000)
156 v.cross[v.cross==0]=NA
157 v.cross <- v.cross[!(is.na(v.cross[,2])),]
158
159 # fit.lmc-funksjonen lager den endelige modellen som kokrigingen tar
utgangspunkt i. Tar inn variogrammene og
160 # gstat-objektet med data. Hvis det er problemer med 'singular
covariance' under kokriging er det anbefalt
161 # med correct.diagonal=1.01. Se veiledning til gstat-pakken.
162 (g <- fit.lmc(v.cross, g, fit.lmc=TRUE, correct.diagonal = 1.01))
163
164 # Kokriging og prediksjon av primær- og kovariabelen
165
166 o.c.k <- predict.gstat(g, pred.grid.1, nmax = 10) # Ordinær kokriging
og prediksjon for hele studieområdet
167 o.c.k.p <- predict.gstat(g, gsdata.extra, nmax = 10) # For
sammenligning med ordinær kriging for feltposisjonene
168 o.c.k.p_NTE=predict.gstat(g, pred_grid_corr, nmax=10) # Prediksjoner
for NTE-feltene
169 gridded(o.c.k) = TRUE
170
171 # Lager kart med prediksjonsverdiene for hele studieområdet.
172
bmp(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/OcK/",covar,"_
",model_type,"_OcK_pred_map",Next.fdata_t,".bmp",sep=""),
173     width =800, height=1000)
174 image(o.c.k["CORR.pred"],xlim = c(105000, 565000), ylim= c(6905000,
7485000),xlab="X_Coord (m)", ylab="Y_Coord (m)",
175     col=terrain.colors(20, alpha = 1),asp=1)
176 contour(o.c.k["CORR.pred"], add = TRUE, xlim = c(105000, 565000),
ylim= c(6905000, 7485000), drawlabels = TRUE, labcex =1)
177 lines(el.basin1, col="red")
178 #lines(el.basin2, col="red")
179 #lines(el.basin3, col="red")
180 #lines(el.basin4, col="red")
181 #lines(el.basin5, col="red")
182 grid()
183 title(paste("OcK_catch_",Next.fdata_t,model_type,sep=""))
184 dev.off()
185 #

```

```

186
187 ## Kryssvalidering
188 # Kryssvalidering på lik linje med Ordinær kriging. For sammenligning
av predikerte og sanne verdier på kjente punkter.
189 # Plotter resultatene til mappen
190 cv.c <- gstat.cv(g, vdist = 100, nfold = nrow(gpdata.corr))
191
192
bmp(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/OcK/", covar, "_",
model_type, "_xv_OcK_", Next.fdata_t, ".bmp", sep=""))
193 plot(cv.c$observed, (cv.c$observed -
cv.c$residual), main=paste(Next.fdata_t, sep=""), xlab="catch_corr",
194       ylab="predicted_catch_corr")
195 abline(0, 1, col="blue", lwd=2)
196 y <- cv.c$observed; x <- (cv.c$observed - cv.c$residual)
197 fit <- lm(y ~ x)
198 dev.off()
199
200 # Skriver forskjellige resultater til mappen
201 # 1. Feature space korrelasjon oppsummering (valg av ko-variabel)
202 cat(paste(c(paste(covar, "_", model_type, "_catch_", i, sep=""),
round(fs_corr, digits=2), round(summary(fit)$adj.r.squared, digits=2),
203       round((fs_corr)^2, digits=2))), file=fs_out, sep=",")
204 cat("\n", file=fs_out)
205 # 2. OK- og OcK-resultater for sammenligning
206 ok_ock_out <-
file(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/OcK/", covar, "_",
model_type, "_catch_", i, "_OK_OcK_out.txt", sep=""))
207 write.table(c(o.k.p, "with_covariable", o.c.k.p), file = ok_ock_out
, quote = FALSE, row.names = TRUE,
208       col.names = TRUE, qmethod = "escape")
209 ok_ock_out_NTE =
file(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/OcK/", covar, "_",
model_type, "_catch_", i, "_OK_OcK_out_NTE.txt", sep=""))
210 write.table(c(o.k.p_NTE, "with_covariable", o.c.k.p_NTE), file =
ok_ock_out_NTE , quote = FALSE, row.names = TRUE,
211       col.names = TRUE, qmethod = "escape")
212 # 3. OcK kryssvalideringsresultater
213 OcK_x_vald <-
file(paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/OcK/", covar, "_",
model_type, "_catch_", i, "_OcK_X_Vald.txt", sep=""))
214 write.table(paste(paste("Catch_", i, sep=""), y, x, sep=""), OcK_x_vald
, quote = FALSE, row.names = TRUE, col.names = TRUE, qmethod = "escape")
215 # 4. OcK grid utputt for GIS plotting
216 write.table(c(o.k, "with_covariable", o.c.k), file =
paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/OcK/", covar, "_", mo
del_type, "_catch_", i, "_grid_CoK_oct2012.txt", sep=""),
217       quote = FALSE, row.names = TRUE, col.names = TRUE, qmethod =
"escape")
218 # 5. Variogramparametre
219 catch <- paste("Catch_", i, sep="")
220
cat(paste(c(catch, g$model$CORR$psill, g$model$CORR$range, g$model$SimCoeff$ps
ill, g$model$SimCoeff$range,
221       g$model$CORR.SimCoeff$psill, g$model$CORR.SimCoeff$range, round(fs_corr, digit
s=2), round(summary(fit)$adj.r.squared, digits=2))),
222       file=vario_out, sep=",")
223 cat("\n", file=vario_out)
224 ##
225 rm(list=ls())

```

```
226 graphics.off()  
227}  
228close(fs_out)  
229close(vario_out)  
230
```

## G.7 Skalering.r

```
1 # Erlend april 2014
2 ## Tradisjonell skalering for sammenligning
3 rm(list=ls())
4
5 setwd("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Resultater/Skalering/")
6
7 Q_inn=matrix(scan("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/Q_ref_
8 felt.txt",skip=1),35430,36, byrow=T)
9
10 Q=Q_inn[,2:36]
11 Q[Q== -9999] <- NA
12
13 #Skalering fra 1.1.2008 til 31.12.2012. 1.1.2000 = 30682
14 # Bøla skaleres med Støafoss (22)
15 # Bøla får også Støafoss som skaleringsstasjon etter OK og OcK
16
17 Q_Bola=((45.1*33.8)/(477*36.5))*Q[33604:35430,22]
18
19 #Fiskløysa VM skaleres med Murusjø
20 # Gjelder også etter OK og OcK
21 Q_Fisk=((60.6*39.4)/(345.9*24.4))*Q[33604:35430,15]
22
23 #Flåttadal skaleres med Moen
24
25 Q_Flått=((119.7*84.7)/(63.9*61.6))*Q[33604:35430,9]
26
27 # Gjelder også etter OK, men får Mannseter som skaleringsstasjon etter
28 OcK
29 Q_Flått_OcK=((119.7*84.7)/(96.8*38.8))*Q[33604:35430,33]
30
31
32 #Hellifoss skaleres med Første Aunvatn, data fra 1.1.2008=33604 til
33 31.12.2011=35064
34 #Gjelder også etter OK og OcK
35 Q_Helli=((60.6*84)/(87.6*110.7))*Q[33604:35064,10] # serien starter
36 24450-
37
38 #Vølsetelva skaleres med Krinsvatn (23)
39
40 Q_Vølset=((53.9*53.3)/(206.3*63.8))*Q[33604:35430,23]
41 #Vølsetelva får Stordalsvatn som skaleringsstasjon etter OK og OcK.
42 Stordalsvatn har data frem til 34000
43 #Nest best er (43) Krinsvatn
44 Q_Vølset_OcK=((53.9*53.3)/(226.0*49.2))*Q[33604:35430,21]
45 Q_Vølset_OcK2=((53.9*53.3)/(206.3*63.8))*Q[33604:35430,23]
46
47 #Sandvasselva skaleres med Øyungen, data fra 23.6.2011=34873 til
48 31.12.2012=35430
49
50 Q_Sand=((15*58.2)/(239.7*50.6))*Q[1:35430,20]
51 #Sandvasselva får Stordalsvatn som skaleringsstasjon etter OK og OcK.
52 Stordalsvatn har data frem til 34000
53 #Nest best er (23) Krinsvatn
54 Q_Sand_OcK=((15*58.2)/(226*49.2))*Q[29100:34200,21]
```

```

50 Q_Sand_OcK2=((15*58.2)/(206.3*63.8))*Q[34873:35430,23]
51
52 #Navlusfoss skaleres med Embrethølen
53
54 Q_Navlus=((434.1*28)/(494.3*40.6))*Q[33604:35430,18]
55 #Gjelder også etter OK og OcK
56
57 #Storåselva skaleres med Embrethølen
58 #Gjelder også etter OK og OcK
59 Q_Storås=((263*28.8)/(494.3*40.6))*Q[35065:35430,18]
60
61 #Vesteråa skaleres med Øyungen. Data fra 1.1.2007=33239 til
31.12.2009=34334
62 #Gjelder også etter OK, men Veravatn etter OcK
63 Q_Vest=((71.9*33.6)/(239.7*50.6))*Q[33239:34334,20]
64
65 Q_Vest_OcK=((71.9*33.6)/(175.7*36.2))*Q[33239:34334,25]
66
67 #Ekorndalselva skaleres med Grongstadvatn. Data fra 1.9.2007=33482 til
31.8.2011=34942
68 # Skaleres med Salsvatn etter OK
69 # Skaleres med Innsvatn etter OcK, men den er nedlagt. Ellers 25
Veravatn.
70 Q_Ekorn=((17.3*66.7)/(471.6*68.1))*Q[33482:34942,13]
71 Q_Ekorn_OK=((17.3*66.7)/(432.1*59.3))*Q[33482:34942,12]
72 Q_Ekorn_OcK=((17.3*66.7)/(95.6*35.4))*Q[21000:27500,29] #Innsvatn
73 Q_Ekorn_OcK_2=((17.3*66.7)/(175.7*36.2))*Q[33482:34942,25] #Veravatn
74
75
76 #Trongfossen skaleres med Moen
77
78 Q_Trong=((1774.1*47.9)/((63.9*61.6))*Q[33604:35430,9]
79 #Moen etter OK, Kapskarmo etter OcK
80 Q_Trong_OK=((1774.1*47.9)/(474,3*62))*Q[33604:35430,6]
81
82 #Kjerråa skaleres med Moen. Har data fra 1.9.2008=33848 til
2.10.2012=35340
83
84 Q_Kjerr=((13.9*42.2)/(63.9*61.6))*Q[33848:35340,9]
85 #Gjelder også etter OK, men Veravatn etter OcK
86 Q_Kjerr_OcK=((13.9*42.2)/(175.7*36.2))*Q[33848:35340,25]
87
88 #Saksvatn skaleres også med Moen
89 #Også etter OK, men Landbru_limn etter OcK
90 Q_Saks=((64.1*37.8)/(63.9*61.6))*Q[33604:35430,9]
91 Q_Saks_OcK=((64.1*37.8)/(62*44.0))*Q[33604:35430,11]
92
93
94 fout=cbind(Q_Bøla, Q_Ekorn, Q_Fisk, Q_Flått, Q_Helli, Q_Kjerr,
Q_Navlus, Q_Saks, Q_Sand, Q_Storås, Q_Trong, Q_Vest, Q_Vølset)
95
96 write.table(fout,"Skalering.txt", quote = F, col.names =
c("Bøla","Ekorndalselva", "Fiskløysa
VM","Flåttadal","Hellifoss","Kjerråa","Navlusfoss","Saksvatn","Sandvasselva
","Storåselva","Trongfossen","Vesteråa","Vølsetelva"),row.names =F,
sep=","")
97
98
99
#####
#####

```



```

100 # Eksempel for evaluering
101 # Ekorndalselva
102
OcK_res=read.table("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/OcK/
NTE_PRED.txt", skip=1)
103 OcK=OcK_res[,3:37]
104 apply(OcK,1,max)
105 apply(OcK,1,which.max)
106
107
Ekorn=read.table("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Data/Data
fra NTE/Q/Q-Ekorndal 2007-2011.txt",skip=1)
108 Ekorn=Ekorn[,3]
109 Ekorn=as.ts(Ekorn)
110 Q_Ekorn=((17.3*66.7)/(471.6*68.1))*Q[33482:34942,13]
111 #Q_Vest=Q_Vest[245:1737]
112 Q_Ekorn=as.ts(Q_Ekorn)
113 #Q_Ekorn_OK=((17.3*66.7)/(432.1*59.3))*Q[33482:34942,12]
114 #Q_Ekorn_OK=as.ts(Q_Ekorn_OK)
115 Q_Ekorn_OcK=((17.3*66.7)/(175.7*36.2))*Q[33482:34942,25]
116 #Q_Vest_OcK=Q_Vest_OcK[245:1737]
117 Q_Ekorn_OcK=as.ts(Q_Ekorn_OcK)
118 #Får egentlig Innsvatn som skaleringsfelt etter OcK
119 #Q_Ekorn_OcK=((17.3*66.7)/(95.6*35.4))*Q[21000:27500,29]
120 #Q_Ekorn_OcK=as.ts(Q_Ekorn_OcK)
121
122 par(mfrow=c(1,1))
123 ts.plot(Ekorn, Q_Ekorn, Q_Ekorn_OcK,
gpars=list(col=1:3),main="Ekorndalselva", ylab="Q [m3/s]", xlab="Døgn fra
1.9.2007")
124 legend("topleft", legend = c("Ekorndalselva","Skalert med
Grongstadvatn", "OcK: Skalert med Veravatn"), col=1:3, pch=1, cex=1)
125 library(topmodel)
126 NSeff(Ekorn,Q_Ekorn)
127 #NSeff(Ekorn,Q_Ekorn_OK)
128 NSeff(Ekorn,Q_Ekorn_OcK)
129
130 write.table(cbind(Ekorn,Q_Ekorn,Q_Ekorn_OcK), file =
paste("C:/Users/Erlend/Documents/NTNU/Masteroppgave/Resultater/Skalering/",
"Ekorndalselva.txt",sep=""),quote =FALSE, sep = ",", col.names =
c("Ekorndalselva","Skalert med Grongstadvatn", "OcK: Skalert med
Veravatn"))
131
132
133 #2008 er medianåret, 123:488
134 Ekorn_år=as.ts(Ekorn[123:488])
135 Q_Ekorn_år=as.ts(Q_Ekorn[123:488])
136 Q_Ekorn_OcK_år=as.ts(Q_Ekorn_OcK[123:488])
137
138 #fdc_Ekorn=fdc(Ekorn)
139 #fdc_trad=fdc(Q_Ekorn)
140 #fdc_OcK=fdc(Q_Ekorn_OcK)
141
#####
###
142 rank      <- rank(Ekorn, ties.method="max")
143 rank      <- max(rank)-rank
144 exceedtime <- 100 * (rank / (length(Ekorn)+1))
145 Flow_exceeded=sort(exceedtime, decreasing=T)
146 Flow=sort(Ekorn)
147 true=cbind(Flow_exceeded,Flow)

```

```

148
149 rank1      <- rank(Q_Ekorn, ties.method="max")
150 rank1      <- max(rank1)-rank1
151 exceedtime1 <- 100 * (rank1 / (length(Q_Ekorn)+1))
152 Flow_exceeded1=sort(exceedtime1, decreasing=T)
153 Flow1=sort(Q_Ekorn)
154 Skal=cbind(Flow_exceeded1,Flow1)
155
156
157 rank2      <- rank(Q_Ekorn_OcK, ties.method="max")
158 rank2      <- max(rank2)-rank2
159 exceedtime2 <- 100 * (rank2 / (length(Q_Ekorn_OcK)+1))
160 Flow_exceeded2=sort(exceedtime2, decreasing=T)
161 Flow2=sort(Q_Ekorn_OcK)
162 OcK=cbind(Flow_exceeded2,Flow2)
163
164 #par(mfrow=c(1,1))
165
166 plot(true, col="black", type="l",lwd=4, main="Varighetskurve for
Ekorndalselva", ylab="Q [m3/s]", xlab="% i tid oversteget", log="y")
167 lines(Skal, col="red", lwd=2)
168 lines(OcK, col="blue", lwd=2)
169 legend("topright", legend = c("Sann Q Ekorndalselva","Skalert med
Grongstadvatn","OcK: Skalert med Veravatr"), col=c("black","red","blue"),
pch=1, cex=1)
170
171 NSeff(true,Skal)
172 NSeff(true,OcK)
173 ## Verdier å sammenligne. Hvor er middelvannføringen på
varighetskurven?
174 ##           Slukeevne=2*Qmiddel. Hvor stor er den?
175 ##           Lavvannsverdier. F.eks. 5-persentil.
176 # Fem-persentil sammenligning
177 fempers=true[which(abs(true[,1]-95)==min(abs(true[,1]-95)))]
178 true[true[,1]==fempers]
179 fempers=Skal[which(abs(Skal[,1]-95)==min(abs(Skal[,1]-95)))]
180 Skal[Skal[,1]==fempers]
181 fempers=OcK[which(abs(OcK[,1]-95)==min(abs(OcK[,1]-95)))]
182 OcK[OcK[,1]==fempers]
183
184 # Qmiddel sammenligning
185 # Sann Qmiddel
186 Qm=sum(Ekorn)/length(Ekorn)
187 Qm_2=sum(Q_Ekorn)/length(Q_Ekorn)
188 Qm_4=sum(Q_Ekorn_OcK)/length(Q_Ekorn_OcK)
189
190 # Slukeevne er dobbel Qmiddel. Finne hvilken persentil denne svarer
til.
191 abdu=true[which(abs(true[,2]-(2*Qm))==min(abs(true[,2]-(2*Qm))))]
192 Q_sluk_true=true[true[,1]==abdu]
193
194
#####SLUTT#####
#####

```

# **Vedlegg H**

## **Eksempler av filformat**





## .txt

Eksempel på .txt-filer med feltparametere som er egnet for arbeid i R. Her er de oppdelt med tab/mellomrom.

FID	VASSDRAGNR	SHAPE_AREA	SHAPE_LEN	X	Y	X_UTM	Y_UTM
0	151.1D	73922333.53	48579.80389	13.011151	65.734709	408805.6241	7291780.116
1	149.2AA	95817069.07	52534.60494	12.931357	65.593821	404634.4038	7276203.099
2	148.B0	192827720.2	82233.8651	12.963813	65.451119	405616.2776	7260253.337
3	148.2A0	109205464.3	61057.34124	12.606438	65.318438	388494.9899	7246061.528
4	151.H2	654132085.2	155784.5279	14.093113	65.317583	457751.7549	7244150.637
5	151.CB0	474304205.5	143143.7512	13.280669	65.283412	419793.5606	7241112.399
6	144.B11	389127851.1	144540.3671	12.870032	65.07777	399835.6481	7218792.974
7	139.H11	702050282.6	167016.2934	13.817857	65.071439	444397.8002	7216920.234
8	139.E8Z	63943538.26	43738.10069	13.012559	64.986011	406244.3471	7208366.932
9	142.3AA	87604849.09	48728.4252	12.605872	64.915126	386763.4108	7201138.555
10	307.3BH	62012414.81	46617.11588	13.906367	64.921808	448281.8246	7200187.956
11	140.B2	432056622.6	141336.7984	11.875517	64.701993	351055.7458	7178922.011
12	139.AB4	471639543.6	165207.8194	12.270464	64.671598	369725.2443	7174647.266
13	139.CA	249641698.6	101361.4685	12.922619	64.559404	400438.3483	7160991.055
14	307.3AA	345856288.6	132397.6588	13.823853	64.487002	443505.8514	7151806.257
15	139.BB1	851964568	242656.4382	13.374431	64.451149	421813.5141	7148324.677
16	139.BC5	426990985.1	120870.1308	13.658543	64.413816	435376.3795	7143814.778
17	139.BAC0	494251700.5	162811.5341	13.006376	64.349368	403727.2161	7137463.342
18	308.2D	450702963.5	130244.1594	13.627965	64.296684	433623.1552	7130799.463
19	138.B2	239728702.5	109698.5585	10.956065	64.193356	303663.3799	7124796.438
20	135.C	226031289.1	112165.5429	10.609677	64.037138	285651.0289	7108540.517
21	128.AA3	476999011	137732.4338	12.057252	64.01166	356144.1698	7101632.921
22	133.3B1	206276102.9	90583.85954	10.395105	63.837031	273597.2122	7087026.501

## **.asc**

Eksempel på de første linjene av en .asc-fil med nedbørsverdier slik den ser ut i tekstbehandlingsprogrammer. Avhengig av oppløsningen på data og hvor stort det er, kan disse filene være veldig store. Formatet er håndterlig gjennom R og ArcGIS.

```
ncols      1215
nrows      1506
xllcorner  -85000
yllcorner  6444000
cellsize   1000
NODATA_value -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -
9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -
9999 -9999 -9999 -9999 -9999
```