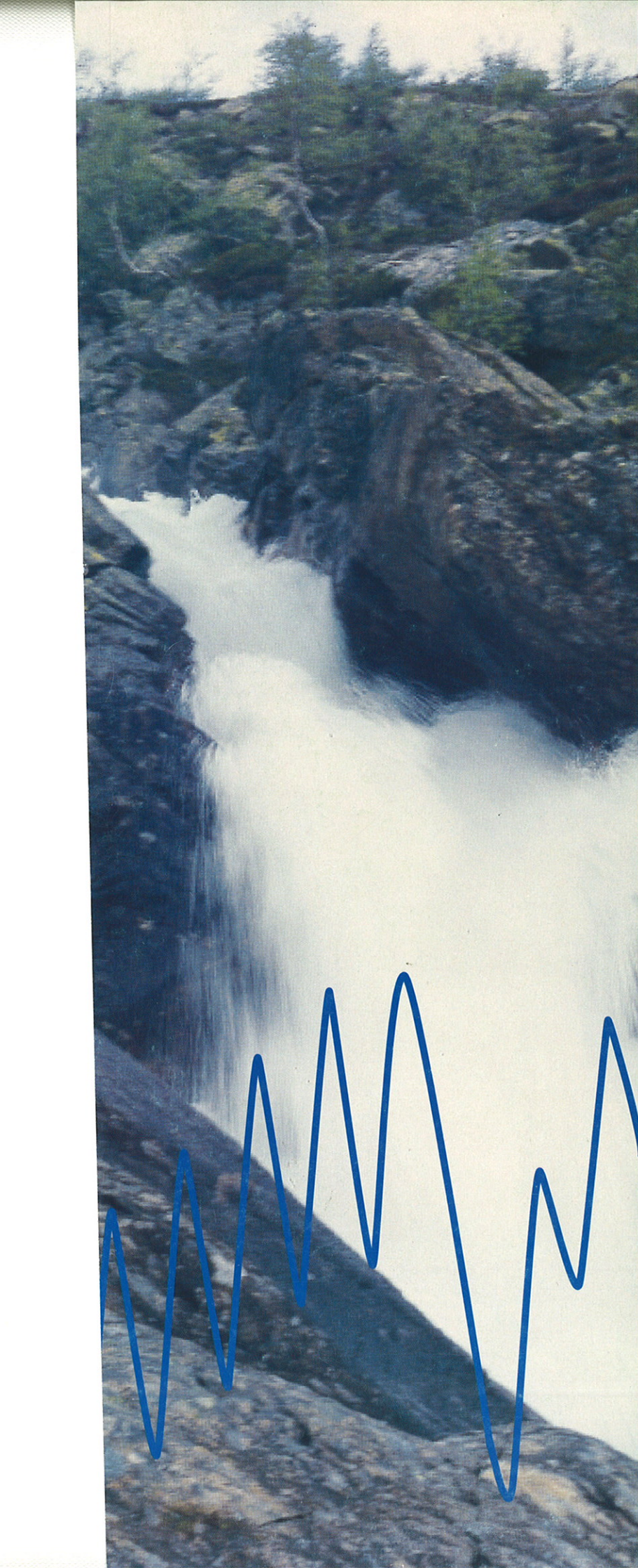


## Rapport nr. 14

Verknader av ope vatn  
på lufttemperaturen  
rundt råker i is



*Effekt-*  

---

*regulering –*  

---

*Miljø-*  

---

*verknader*  

---

*og konflikt-*  

---

*reduserande*  

---

*tiltak*

# Effektregulering – Miljøverknader og konfliktreducerende tiltak

FoU-prosjektet Effektregulering - miljøverknader og konfliktreducerende tiltak er lagt inn under Effekt-programmet til Noregs forskingsråd. Prosjektet starta i 1996 og skal etter planane sluttførast i år 2000.

Meir kraftbyte med utlandet aktualiserer auka effektinstallasjonar og endra køyrestrategi i noverande og komande kraftverk. Prosjektet fokuserer på miljøverknader av auka døgnregulering som ser ut til å bli den vanlegaste forma for effektregulering i Noreg.

Eit særkjenne ved effektregulering er snøggare endringar i dei fysiske tilhøva i vassdraget enn dei vi er vane med ved dagens drift av kraftverka. Slike endringar vil påverke vassdragsmiljøa på ein ny måte og vil i mange høve krevja nye løyve frå styresmaktene. Enno finst det lite systematisert kunnskap om miljøverknader knytt til døgnregulering og anna effektregulering av kraftverk.

## Hovudmålet for prosjektet er difor å:

- oppgradere kunnskapen om miljøverknader av effektregulering
- utvikle boteråder som kan redusere eller fjerne negative verknader

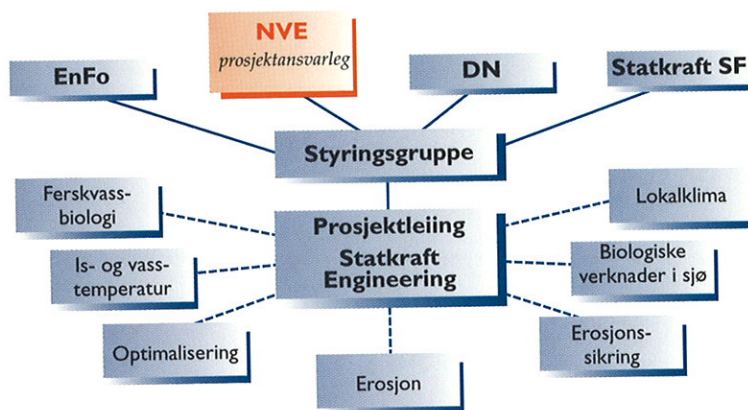
Auka kunnskapar vil setja utbyggjarar og forvaltning betre i stand til å vurdere både miljøkonsekvensane av effektregulering og effektiviteten av boterådene.

Prosjektet vurderer miljøverknadene av effektregulering i innlandsvassdrag med vekt på små og mellomstore innsjøar/ magasin. Som døme-vassdrag er valt delar av Tokke-reguleringa. To av delprosjekta tek i tillegg for seg moglege verknader av auka effektregulering på biologiske tilhøve i fjordar.

Norges vassdrags- og energiverk (NVE) er prosjektansvarleg. Det er i tillegg skipa ei styringsgruppe for prosjektet med representantar for Direktoratet for naturforvaltning (DN), Energiforsyningens fellesorganisasjon (EnFo), Statkraft SF og NVE. Den daglege prosjektleiinga er lagt til Statkraft Engineering as.

Prosjektet er delt inn i åtte delprosjekt, seks av dei knytt til innlandsvassdrag og to til fjordar. Dei som er knytt til innlandsvassdrag femner faggreinene is- og vassstemperatur, erosjon, erosjonssikring, lokalklima, biologi og optimalisering av teknikk, miljø og økonomi. Fjordprosjekta femner verknader av effektregulering på fisk og algevekst.

Arbeidet blir gjort av institusjonane Universitetet i Bergen, Det norske meteorologiske institutt (DNMI), Norsk institutt for vannforskning (NIVA), NVE, Statkraft Engineering og Universitetet i Oslo.



Meir informasjon om prosjektet og publikasjonar i serien Rapport frå Effektregulering - Miljøverknader og konfliktreducerende tiltak, får du ved å vende deg til:

Prosjektleder Elise Førde  
Statkraft Grøner as  
Postboks 400  
1327 Lysaker

Tlf.: 67128000  
Fax: 67128212

e-mail: [elf@statkraftgroner.no](mailto:elf@statkraftgroner.no)  
<http://www.statkraftgroner.no/project/ef>

## Delprosjekt 1.3 Klima

<p><b>TITTEL:</b> Verknader av ope vatn på lufttemperaturen rundt råker i is.</p> <p>Influence on local air temperature by open water bodies during winter</p>	<p><b>RAPPORT NR. 14</b> DNMI-RAPPORT NR. 17/00 KLIMA</p>
<p><b>DELPROSJEKTANSVARLEG:</b> Per Øyvind Nordli</p>	<p><b>INSTITUSJON:</b> Det norske meteorologiske institutt</p>
<p><b>FORFATTAR:</b> Per Øyvind Nordli</p>	<p><b>INSTITUSJON:</b> Det norske meteorologiske institutt</p>

**SAMANDRAG:**

Ope vatn i streng vinterkulde verkar til å dempe kulden, di kaldare det er di sterkare er denne effekten. Ved den mest påverka staden i strandsóna nær den opne råka i Våmarvatn, modererte vassyta i middel temperaturen med 6 °C når upåverka temperatur elles ville ha vore -20°C. Ved den minst påverka staden i strandsona var effekten knapt 3 °C i middel.

Påverknaden var størst på oddar som stakk ut i vatnet og minst i viker. Der eit tjukt kaldluftslag var på veg inn mot vatnet, var påverknaden liten i høve til den staden lufta strøymde ut frå området og altså hadde halde seg over ope vatn ei tid. Verknaden av det opne vatnet gjorde seg sterkt gjeldande sjølv etter at lufta hadde strøymd fleire hundre meter over islagt areal.

**ABSTRACT:**

Open water in a cold winter climate tends to reduce winter temperatures. At Våmarvatn in Vinje in Telemark, the mean reduction was found to be about 6 °C for well exposed sites on the shores, whereas at less exposed sites the reduction was slightly 3 °C. These effects came when the undisturbed temperature was -20 °C.

The effect of open water was largest at headlands and less at caves. Where a thick layer of cold air was approaching the open water, the layer was only slightly heated. On its way from the open water, on the other hand, the air remained heated even after having flown several hundred meters over snow covered ground.

**EMNEORD:** Temperatur, effektregulering, Tokke, Våmarvatn, Botnedalen, råk, is.

Lysaker, Februar 2001



Elise Førde  
Prosjektleiar

ISBN 82-91904-10-3

ISSN 0809-5825

## **Innhald**

	Side
1 Innleiing	5
2 Mæleopplegg og data	5
2.1 Mælingane ved Våmarvatnet	5
2.2 Meteorologiske mælingar i Botnedalen	7
3 Metodar og resultat.	9
3.1 Metode 1, enkel kvadratisk regresjonsanalyse på data frå områda ved Våmarvatnet.	9
3.2 Metode 2, jamføring av vêrsituasjonar med og utan is. Datagrunnlag frå Botnedalen.	15
4 Ein syntese av resultata ved Våmarvatn og Botnedalen, diskusjon.	17
5 Overføringsverdi til vassdrag med sterk døgnetleg effektregulering	21
6 Samandrag og konklusjon	22
7 Litteratur	23
Appendiks 1	24
Appendiks 2	28
Appendiks 3	31

## 1 Innleiing

I det norske vinterklimaet skaper utslepp av vatn frå kraftverk oftast råker i is om utsleppet går til vassdrag. Sjølv i streng kulde frys mange råker ikkje til. Utslepp i fjordar gjev ofte eit brakkvasslag på toppen av det varmare og saltare fjordvatnet. Det kan ofte føre til at fjorden lettare frys til.

Den klimaverknaden som har vore mest granska i samband med dette, er utan tvil danninga av frostrøyk. Det er ei form for tåke i dalen som kan kjennast kald, og ho kan vera tett nok til å hindre at sola bryt igjennom. Tett frostrøyk er rekna for å vera ei stor miljølempe, og det gråe vêret kan verke til at folk føler at det har vorte kaldare. Det er likevel slik at om den opne råka ikkje hadde eksistert, ville det vore endå kaldare. Frå råka går det ein varmestraum som kjem lufta til gode, men er vatnet gøymd under eit is- og snølag blir varmen isolert frå lufta. Utaaker (1993) fann til dømes at varmestraumen frå ei open råk nedafor Brokke kraftverk i Setesdal øvde ein påverknad på lufta tilsvarande +2 °C når lufttemperaturen var -10 °C.

I Luster var det store skader på frukttre etter den kalde vinteren 1978/79, og Gjessing og Nordli (1991) fann at den islagde fjorden verka inn på lufttemperaturen som av den grunn vart lågare enn han elles ville ha vore. I rettsoppgjeret som fylgde, vart det konkludert med at reguleringa hadde ført til skader på frukttrea. Dette viser at temperaturendringar også vinterstid kan påverke tre og plantar, slik at innverknader av vassdragsreguleringar kan femne vidare enn det menneska lett kan sanse, og i somme tilfelle ha økonomiske konsekvensar.

Aukande effektregulering kan også endre islegginga av vatn. Difor er det viktig at også effekten av ope vatn blir vurdert i denne samanhengen.

## 2 Mæleopplegg og data

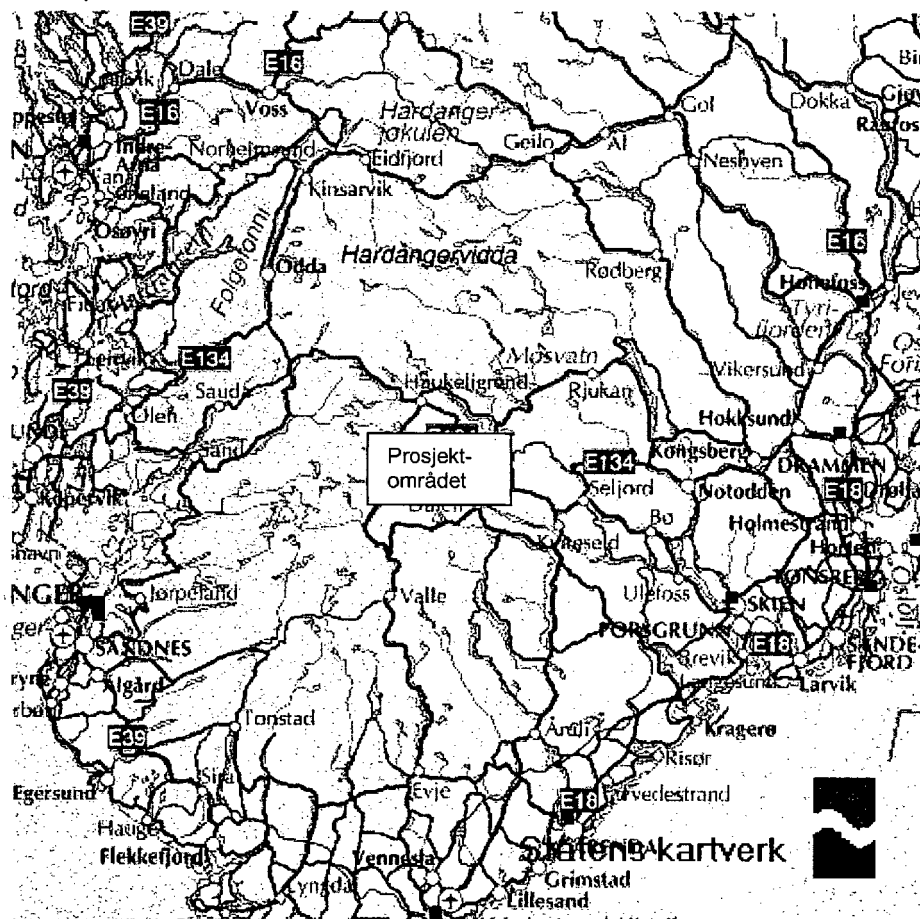
Som ein lekk i prosjektet "Effektregulering - miljøverknader og konfliktreducerande tiltak" vart det hausten 1996 sett i gang meteorologiske mælingar ved Våmarvatn i Vinje og i Botnedalen i Tokke, sjå figurane 2.1, 2.2 og 2.3. Dette var meteorologiske stasjonar med mælingar av temperatur, vind og relativ råme. I tillegg til desse såkalla hovudstasjonane hadde ein òg til rådvelde eit mobilt nett av temperaturmælingar som kunne brukast til ymse føremål, figur 2.2 og 2.3. Mest vart dette nettet brukt til kartlegging av temperaturverknader av opne råker.

### 2.1 Mælingane ved Våmarvatnet

For å finne verknaden av den opne råka i isen på Våmarvatnet, vart det mobile nettet brukt mange stader ved vatnet med nokre flyttingar frå vinter til vinter, sjå tabell 2.1 og figur 2.2. Mælepunktet ved Langetjørn vart derimot ståande på same staden gjennom prosjektperioden sidan det var brukt som ein referanse.

I Noreg er standardhøgda ned til marka 2 m for temperaturmælingar, men om vinteren i eit område som Våmarvatn blir den effektive høgda mindre på grunn av snødjupna. Snødjupna varierte monaleg frå stad til stad slik at også effektiv mælehøgde varierte. Dette kan vera ei feilkjelde ved jamføring av stasjonar, og det vart difor ved inspeksjon i feltet teke mælingar. Desse er presenterte i tabell 2.2. Vi ser av tabellen at effektiv mælehøgde varierte frå 118 cm til 155 cm den 1. og 2. februar 1999 og frå 105 cm til 160 den 11. mars 1999.

Ved dei mobile mælepunkta var det ein uheldig kombinasjon av følar og stativ. Det viste seg at når stativet vart vermt opp av sola, vart noko av varmen leidd inn til følar som då vart overoppheta i høve til lufta ikring. I granskinga vart difor dagobservasjonane sløyfa, og ein nøydde seg med å bruke data berre mellom kl. 19 til kl. 07. Sidan berre data frå midten av oktober (frå den 17. i 1997 og den 14. i 1998) til ut mars vart brukte i granskinga, er problemet med overhetinga av følaren luka ut.



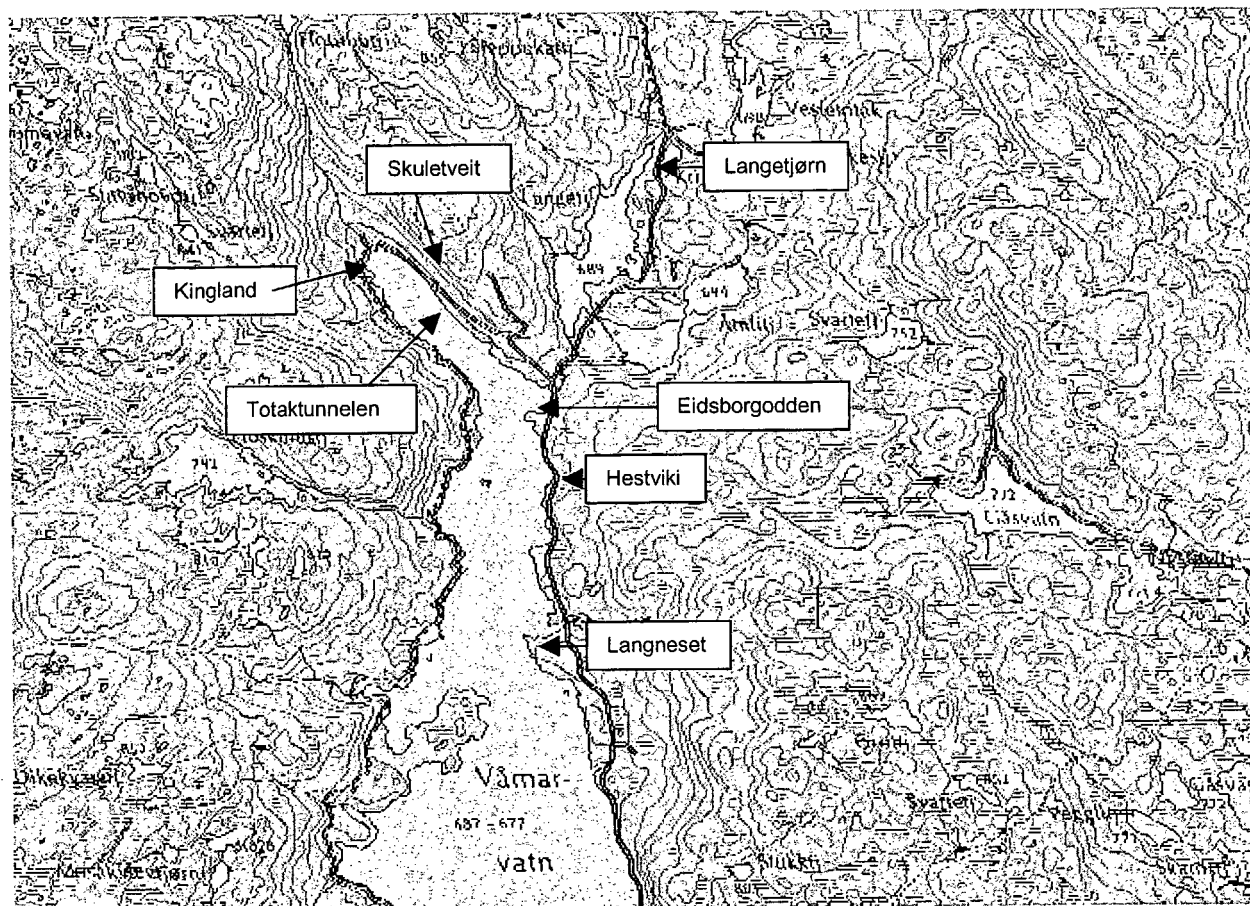
Figur 2.1 Prosjektområdet ligg i kommunane Vinje og Tokke i Telemark fylke (Kart frå "Opplv Norge").

Tabell 2.1 Meteorologiske stasjonar og mobile mælepunkt ved Våmarvatnet. Dei som er førde med stasjonsnummer er faste, dei utan stasjonsnummer er mobile.

Stasjonsnummer og namn	Startdato	Sluttdato	H. o.h. (m)	H. o. vatnet (m)
33420 Våmarvatn – Kingland	11. okt. 1996	04. jul. 2000	690	3
33421 Våmarvatn – Skuletveit	09. feb. 1998	23. jun. 1999	782	95
Totaktunnelen	21. okt. 1998	24. apr. 1999	690	3
Eidsborgodden	15. okt. 1997	18. apr. 1998	690	3
Hestviki	21. okt. 1998	24. apr. 1999	690	3
Langneset	15. okt. 1997	18. apr. 1998	690	3
Langetjørn	10. okt. 1997	09. apr. 2000	692	3

Tabell 2.2 Observasjon av snødjup ved mælepunkta vinteren 1998/1999.

Mælepunkt	1. og 2. feb. 1999	11. mars 1999
Kingland	45	70
Totaktunnelen	-	40
Hestviki	82	95
Langetjørn	68	80



Figur 2.2 Våmarvatnet med plasseringa av dei faste stasjonane 33420 Våmarvatn – Kingland og 33421 Våmarvatn – Skuletveit saman med dei mobile mælepunkta for temperatur (kart frå "Opplev Norge").

Arealet av ope vatn vart registrert av ein observatør på garden Krossbakken og når folk frå prosjektet vitja feltet. Eksempel på kartlegging er vist i appendiks 3, som gjev ein indikasjon på storleiken av isfritt areal.

## 2.2 Meteorologiske mælingar i Botnedalen

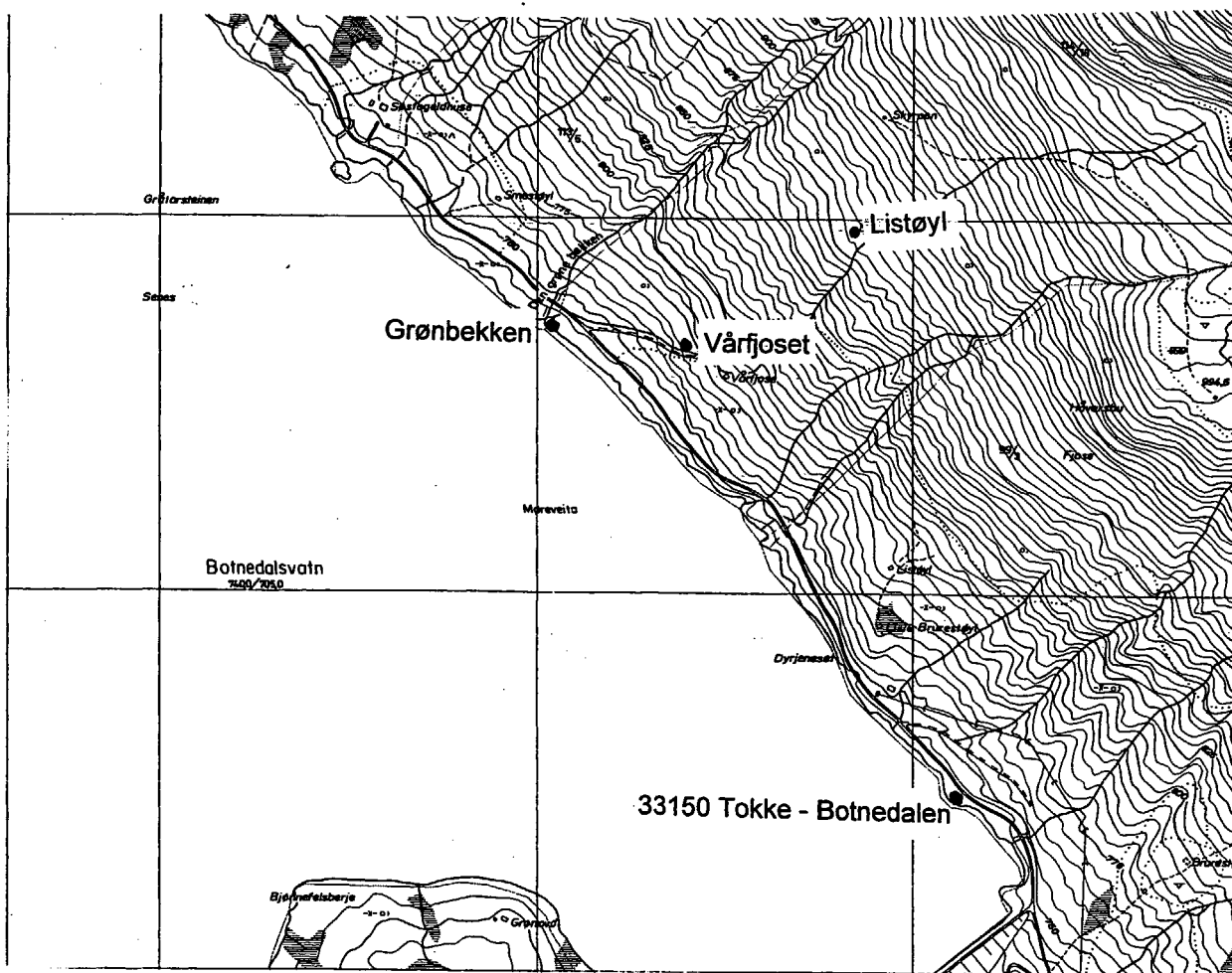
Hovudstasjonen inne i Botnedalen vart sett i drift den 29. januar 1997 og den 8. september 1999 vart mælingane i dalen forsterka med tre mælepunkt frå det mobile nettet, sjå tabell 2.3 og figur 2.3. Diverre viste det seg at hovudstasjonen hadde sær mange mælefeil siste driftsvinteren, og då vantar mykje data.

Tabell 2.3 Meteorologiske stasjonar og mobile mælepunkt i Botnedalen. Dei som er førde med stasjonsnummer er faste, dei utan stasjonsnummer er mobile.

Stasjonsnummer og namn	Startdato	Sluttdato	H. o.h. (m)	H. o. vatnet (m)
33150 Tokke – Botnedalen	29. jan. 1997	05. jul. 2000	744	4
Grønbekken (T1)	08.sep. 1999	15. mar. 2000	744	4
Vårfjose (T2)	08.sep. 1999	15. mar. 2000	771	31
Listøyl (T3)	08.sep. 1999	15. mar. 2000	882	142

Til studiet av verknaden frå open vassflate vart berre data i tidsrommet 1. oktober 1999 til 29. februar 2000 nytta. Sidan isen la seg på Botnedalsvatnet den 14. desember den vinteren, vart det om lag like stor datamengd på kvar side av isleggingstidspunktet. Då mælepunkta vart vitja den 15. mars, synt det seg at snødjupna ved Listøyl var heile 180 cm slik at følaren berre stakk opp om lag 20 cm over snøflata. Det kom relativt mykje nedbør i fyrste halvta av mars, slik at ein reknar med at avstanden frå følar med mot snødekket var vesentleg større den 29. februar, siste dagen som vert teken med i granskinga.

Ein ny type følar vart brukt på mælepunkta, og vi reknar ikkje med at overoppheting av denne følaren skulle vera noko problem. Dermed er heile døgnet brukt i granskinga.



Figur 2.3 Kartutsnitt over Botnedalen og stasjonen 33150 Tokke – Botnedalen, og dessutan tre mælepunkt for temperatur



### 3 Metodar og resultat.

#### 3.1 Metode 1, enkel kvadratisk regresjonsanalyse på data frå områda ved Våmarvatnet.

Ein av dei mobile temperaturmælarane vart plassert ved Langetjørn austafør Våmarvatn. Avstanden til Våmarvatn er såpass stor at den opne vassflata ved Våmarvatn ikkje kan ha hatt nokon innverknad på lufttemperaturen ved Langetjørn, sjå kartet figur 2.2. Lendet omkring Langetjørn og Våmarvatnet er slik at ein i utgangspunktet ikkje kan sjå at kaldluft kan samle seg lettare på den eine staden enn på den andre. Plasseringa av instrumenta på dei to stadene vart gjort mest mogleg lik. Når Våmarvatnet var fullt, stod alle mæleinstrumenta om lag 3 m over vassflatene. Ein skilnad er likevel at Våmarvatnet blir tappa noko ned om vinteren. Vatnet er lite i høve til kapasiteten i Vinje kraftverk, og kan pendle opp og ned, men ein tunnel over til Totak jamnar over tid ut vasstandsskilnader mellom desse vatna. På grunn av at Totak er heilt dominerande i storleik, er det Totak som bestemmer middelasstanden i Våmarvatnet. Totak har ei maksimal regulering på 7 m.

Lufttemperaturen er sterkt korrelert over så små avstandar som det her er tale om. Teoretisk kan ein sjå lufttemperaturen som eit resultat av ein storstila komponent,  $T_s$ , og ein lokal komponent,  $T_l$ . For Våmarvatn verkar også reguleringa inn på lokalklimaet og kunne såleis vore rekna inn i den lokale komponenten. I dette tilfelle er det nettopp komponenten frå reguleringa,  $T_r$ , vi er interesserte i, og vi skil han ut som eit eige ledd i likning (1). Den lokale komponenten femner dermed det naturlege lokalklimaet som rådde føre utbygginga. Lufttemperaturen,  $T$ , for ein stad ved Våmarvatn, kan dermed skrivast som:

$$(1) \quad T = T_s + T_r + T_l$$

Tilsvarande kan temperaturen for ein stad ved Langetjørn skrivast:

$$(2) \quad T = T_s + T_l$$

der reguleringsleddet  $T_r$  er sløyfa, fordi staden ligg så langt frå ope vatn vinterstid at leddet er null. Temperaturdifferansen,  $\Delta T$ , mellom ein stad ved Våmarvatnet og ein stad ved Langetjørn kan dermed finnast ved å ta differansen mellom likning (1) og (2).

$$(3) \quad \Delta T = (T_s + T_r + T_l)_{Våmarvatn} - (T_s + T_l)_{Langtjørn}$$

Etter definisjonen er  $T_s$  den same både ved Våmarvatn og Langetjørn og stativa ved Våmarvatn er plasserte slik at lokalklimaet,  $T_l$ , skal vera mest mogleg likt der mælepunkta er lagde. Arbeider vi ut frå hypotesen om at lokalklimaet ved mælepunkta er likt, finn vi verknaden av reguleringa av likning (3) som under dei nemnde føresetnadene kan skrivast enklare:

$$(4) \quad T_r = \Delta T = T_{Våmarvatn} - T_{Langtjørn}$$

I likningane (1) til (4) er alle verdiane gjennomsnittsverdiar, men tilfeldige variasjonar gjer seg òg gjeldande ved fluktusjonar. Etter definisjonen går midlet av desse mot null når talet på observasjonar aukar, og dei er difor sløyfa i likningane. Timesverdiar er sterkt autokorrelerte og for å lette den statistiske analysen, er eit visst tal av observasjonar midla over ei viss tid på døgnet slik at det blir døgndata som endeleg går inn i den statistiske analysen. På grunn av instrumenttekniske problem, sjå kapittel 2, er det berre data kveld, natt og morgon som kan brukast. Ein har midla observasjonane i tidsrommet kl. 01 til kl. 07 og gjort analysen på desse dataa, medan dataa i tidsrommet kl. 19 til kl. 24 i fyrste omgang blir haldne i reserve for kontroll.

Metoden vart testa ved statistisk analyse. Det vart prøvd med lineær regresjonsanalyse. Temperaturen på stasjonane ved Våmarvatn vart etter tur brukt som avhengig variabel og temperaturen ved Langetjørn som fri variabel. Det viste seg at lineær regresjon var ein dårleg modell. Derimot let dataene seg godt passe inn i ein kvadratisk modell, sjå appendiks I der alle observasjonane er plotta.

Av figurane går det fram at mælepunktet Vestre Langneset har ein større variabilitet omkring regresjonskurva enn dei andre stasjonane. Dette har neppe klimatiske årsaker, men instrumenttekniske. Det synte seg raskt at følaren på denne staden fort kom ut av kalibrering, og det vart gjort ein freistnad på recalibrering ute i felt. Men variasjonane i kurva viser at følaren har vore ustabil slik at inga kalibreringskurve kunne nyttast med hell. Det er dermed ikkje anna å gjera enn å ta følaren ut av granskinga. Heldigvis ser følaren ved Austre Langneset ut til å ha fungert bra. Etter den stutte avstanden mellom mælepunkta på dei to Langnesa å døme, berre 500 m, blir ikkje informasjonen om temperaturgradienten på langs av Våmarvatn vesentleg svekka ved berre å bruke det eine.

Så langt har ein brukt nemningane austre og vestre Langneset for å skilje dei to mælepunkta. Folk i bygda brukar ikkje desse nemningane og når vi no har forkasta data frå det vestre Langneset og såleis berre står att med det austre, kallar vi det her etter berre for Langneset i samsvar med lokal bruk.

Til føresetnaden om at leddet  $T_1$  i likning (3) er likt for Våmarvatn og Langetjørn, kan det knytast eit naudsynt om enn ikkje tilstrekkjeleg vilkår: Sidan vassoverflata om vinteren er nær  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , går det ingen følbar varmetransport frå ope vatn til luft når lufttemperaturen også er omkring  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Det kan dermed ikkje vera nokon verknad av reguleringa i desse tilfella. Om dette vilkåret er strengt oppfylt, må altså konstantleddet i regresjonen vera null.

Regresjonslikningane er gjevne i tabell 3.1.

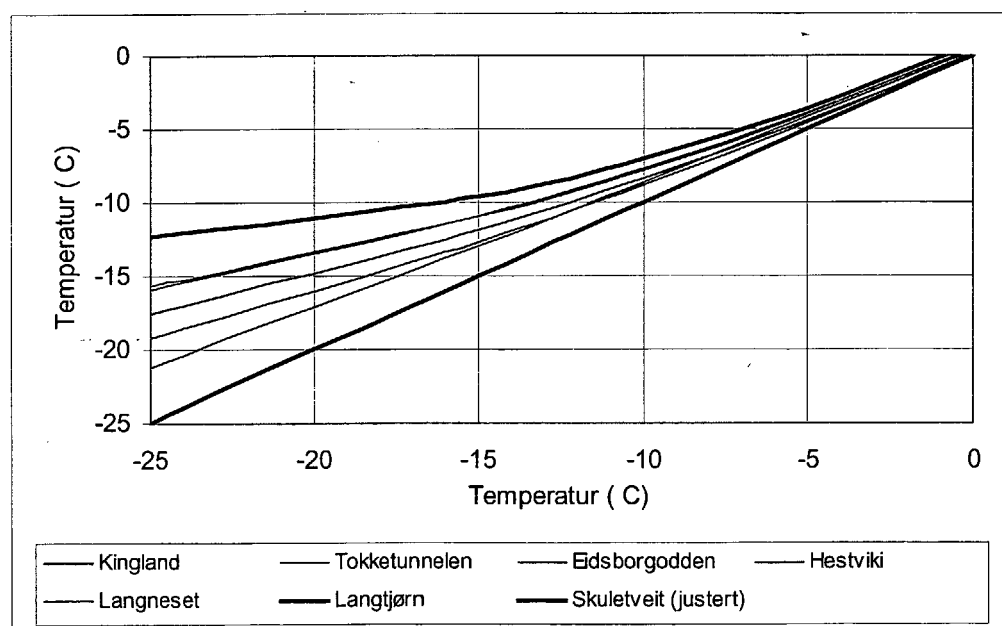
Tabell 3.1 Kvadratiske regresjonslikningar, alle med Langetjørn som fri variabel og mælepunkta ved Våmarvatn etter tur som avhengig variabel. Vidare er signifikansnivået for at konstantleddet er ulik null oppgjeve og dessutan autokorrelasjonen i residualane.

Mælepunkt	Koeffisient a (andregard)	Koeffisient b (fyrstegrad)	Koeffisient c (konstantledd)	Signifikans av konstantledd	Autokorrelasjon i residualane
Kingland	0.00813	0.9026	-0.14	0.02	0.25
Totaktunnelen	0.01125	0.9241	0.34	0.00	0.41
Eidsborgodden	0.00211	0.9127	0.29	0.00	0.10
Hestviki	0.00776	0.9668	0.09	0.36	0.35
Langneset	0.01050	0.9176	0.42	0.00	0.29
Skuletveit	0.01664	0.9313	-0.31	0.02	0.31

Med unntak av stasjonen Hestviki, viste den statistiske analysen at konstantledda i regresjonane var signifikant ulike null ved signifikansnivå 0,05 og at verdiane er å finne i intervallet  $-0.14\text{ °C}$  til  $+0.42\text{ °C}$ .

Resultata frå regresjonsanalysen må òg vurderast opp mot det instrumenttekniske. Ein reknar med at kalibreringa av dei mobile mælepunkta har ein maksimal feil på om lag  $0,2\text{ °C}$ . Konstantleddet for stasjonane Totaktunnelen, Eidsborgodden og Langneset ligg over denne grensa, og har då neppe berre instrumenttekniske årsaker. Konklusjonen blir at for desse stasjonane er ikkje modellen strengt oppfylt. Det største avviket var på Langneset med  $0,42\text{ °C}$ , men sjølv dette er lite jamført med det fenomenet ein skal studere, nemleg temperaturstigninga ved Våmarvatnet på grunn av energitransport frå den opne råka, sjå resultata av modellen på figur 3.1.

Det finst òg eit anna naudsynt vilkår som må vera oppfylt om modellen skal vera realistisk: Ved temperaturar under  $0\text{ °C}$ , må temperaturen ved Våmarvatn vara høgre enn ved Langetjørn om reguleringa skal vera den einaste årsak til ulikt lokalklima ved vatna slik føresetnaden var. Grafisk tyder det at alle regresjonskurvene må liggje over lina for Langetjørn slik som figur 3.1 viser. Føresetnaden held altså for alle mælepunkta ved Våmarvatn.



Figur 3.1 Regresjonslikningar for temperaturen ved ulike mælepunkt ved Våmarvatn som funksjon av temperaturen ved Langetjørn funne ved bruk av enkel kvadratisk regresjon.

Vidare kan mælepunkta ved Våmarvatnet også jamførast med Skuletveit som ligg om lag 90 m høgare enn dei andre mælepunkta. Skuletveit er dermed ikkje nemnande påverka av reguleringa. Dersom den opne vassflata øver så sterk innverknad på lufttemperaturen at lagdelinga blir labil (indifferent), fell lufttemperaturen med  $1\text{ °C}$  per 100 m tilsvarande det som blir kalla turradiabatisk temperaturgradient. Ved å bruke denne samanhengen, er regresjonskurva for Skuletveit "justert ned til nivå" med Våmarvatn. Kurva for Skuletveit markerer dermed grensa for teoretisk, maksimal påverknad av lufta over Våmarvatnet på

grunn av reguleringa. Inga kurve for noko mælepunkt ved Våmarvatnet, skal liggje høgare enn den justerte kurva for Skuletveit. Figur 3.1 viser at også denne føresetnaden er oppfylt.

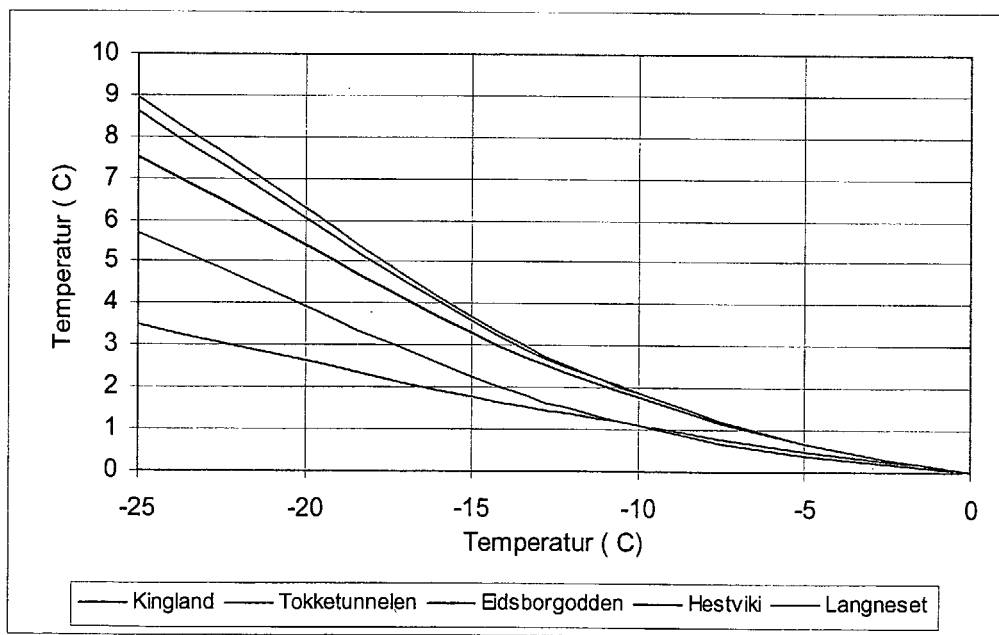
Etter modellen skulle no verknaden av ope vatn vera gjeve ved likning (4). På grunn av at vi fann at konstantleddet var signifikant ulikt null, har vi i staden teke utgangspunkt i likning (3). Leddet for det storstila klimaet fell bort og etter omforming kan likninga skrivast:

$$(5) \quad T_r = \Delta T - \Delta T_i$$

der  $\Delta T_i$  er skilnaden i lokalklima (ikkje medrekna det som reguleringa øver) mellom Våmarvatn og Langetjørn. Denne skilnaden er tolka som konstanten i regresjonslikningane i tabell 3.1. Det er altså lagt til grunn at skilnaden i lokalklima er konstant over heile temperaturskalaen, sjølv om denne føresetnaden nok ikkje er heilt oppfylt.

Ved å setja verdiane frå regresjonslikningane inn i likning (5) for  $\Delta T$  ( $T_{\text{Våmarvatnet}} - T_{\text{Langetjørn}}$ ) og ved å erstatte  $\Delta T_i$  med konstantleddet i regresjonslikningane, kan verknaden av ope vatn finnast.

**Resultat.** Verknaden av ope vatn som funksjon av lufttemperaturen er vist på figur 3.2. Verknaden er svært ulik for dei ulike mælepunkta. Som venta var verknaden størst for mælepunktet Totaktunnelen, som står like ved vassinntaket frå Totak, altså svært nær ope vatn. Ved  $-25^\circ\text{C}$  er verknaden heile  $9^\circ\text{C}$ , ved  $-15^\circ\text{C}$  er han litt under  $4^\circ\text{C}$  og ved  $-5^\circ\text{C}$  er han berre om lag  $0,5^\circ\text{C}$ .



Figur 3.2. Verknaden av ope vatn på Våmarvatnet for hovuddatasettet, d.e. observasjonar i tidsrommet kl. 01 – kl. 07, etter metode med enkel kvadratisk regresjonsanalyse.

Meir uventa er det at det mælepunktet som ligg lengst frå ope vatn, Langneset, viser den nest største verknaden, og skil seg frå Tokketunnelen med ein margin berre på tidels gradar. Intuitivt ville ein gisse på at verknaden av ope vatn minka med avstanden.

Langneset ligg lengst sør av mælepunkta, og det er mogleg at det av og til kan slå ned vind der som ikkje når ned ved dei andre mælepunkta der dei ligg meir skjerna nord i dalen. Men særleg stor kan neppe denne effekten vera fordi vinden i regelen er veik under kulde. Ein kan likevel ikkje så bort frå at det ved Langneset kan vera ein oppvarmingseffekt som ikkje har med ope vatn å gjera.

Mælepunktet på Langneset var godt eksponert mot strøymingar langsetter vatnet, sjå figur 3.3. Dammen i sør er lågaste skranken for utstrøyming av kald luft, slik at drenasjen ved vatnet vanlegvis går frå nord til sør. Kald luft frå inst på vatnet må passere ope vatn på veg ut slik at neset blir eksponert for oppvermt luft. Også kald luft frå områda kring Langetjørn blir drenert til Våmarvatnet, men også denne kalde lufta må passere den opne råka ved Våmarvatnet før ho når Langneset. Figur 3.3 viser denne drenasjen den 11. mars 1999 då luftstraumen var synleg på grunn av sterk frostrøykproduksjon.



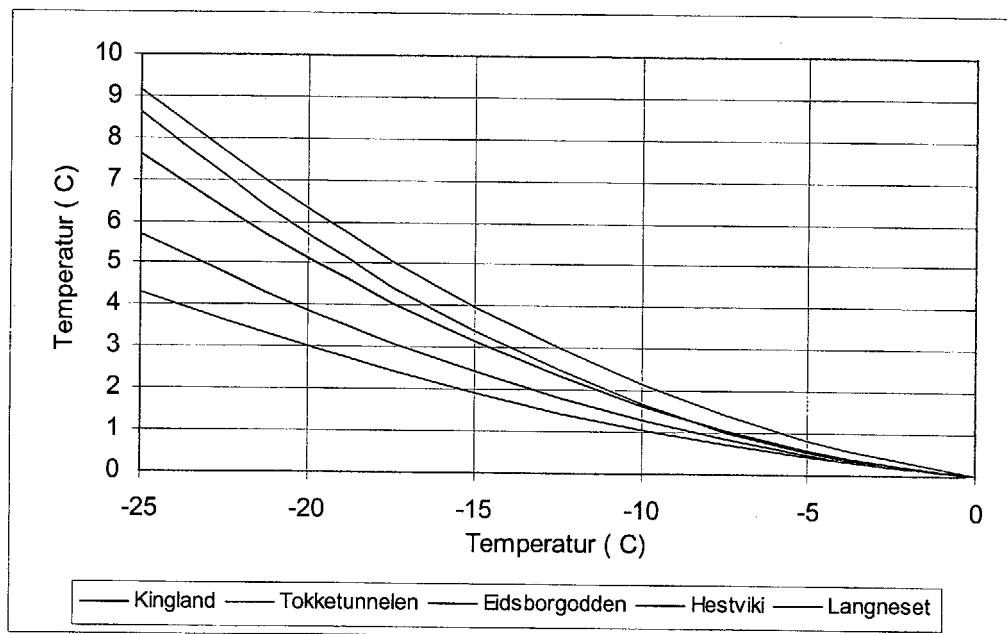
Figur 3.3. Bilete teke frå Våmartveit langsetter vatnet mot sør den 11. mars 1999. Frostrøyken viser kaldluftsstraumen som driv inn frå venstre, dvs. frå områda ved Langetjørn. Ein kan òg merke at dreneringa dreiar mot sør i den sørlegaste delen av den opne råka.

Den staden som blir tredje mest påverka av reguleringa er hovudstasjonen 34420 Våmarvatn – Kingland. Han ligg godt eksponert mot luftmassar langsetter vatnet på eit lite nes på vestsida av vatnet nordafor den opne råka, figur 2.2.

Mælepunktet Hestviki var valt ut for å vera lite eksponert mot den opne vassflata. Det står i eit dalsøkk innafor ei lita vik om lag 50 m frå vatnet. Men vika islegg seg om vinteren og det er òg sjeldan at den opne råka når dit, allvisst ikkje i streng kulde. Verknaden av reguleringa er om lag 1 °C ved -10 °C lufttemperatur. Ved -20 °C har verknaden auka til 4 °C.

Den staden som er minst påverka av den opne råka er Eidsborgodden, som ligg godt eksponert på ein odde, ved HRV er det ei øy, figur 2.2. Avstanden til oppe vatn er berre om lag 100 m når råka har ein storleik som den 11. mars 1999. At staden skulle vera så lite påverka av den opne råka, kan likevel forklarast ved eksponeringa mot luft som strøymer inn frå det upåverka dreneringsområdet ved Langetjørn. Vika nord for Eidsborgodden fryser lett til slik at dreneringa ikkje passerer oppe vatn før ho møter Eidsborgodden. Det er denne drenasjen som er synleg på biletet, figur 3.3, som viser ein austleg kaldluftsstraum.

Resultata ovafor kan testast mot kontrolldatasettet, midelverdiane i tidsrommet 19 – 24. Same analyse som med tidsrommet 01 – 07 vart gjort på kontrolldatasettet og resultata er viste på figur 3.4.



Figur 3.4. Verknaden av oppe vatn på Våmarvatnet for kontrolldatasettet, d.e. observasjonar i tidsrommet kl. 19 – kl. 24, etter metode med enkel kvadratisk regresjonsanalyse.

Resultata ved bruk av dei to datasetta er jamført og stilt opp i tabell 3.2. Jamføringa går ikkje lågare enn til  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  då kontrolldatasettet har svært få data ved lågare temperaturar.

Tabell 3.2. Evaluering av resultat ved hjelp av kontrolldatasettet. Verknaden av oppe vatn basert på hovuddatasettet minus den basert på kontrolldatasettet.

Temperatur	Kingland	Totaktunnelen	Eidsborgodden	Hestviki	Langneset
-20.00	-0.06	0.30	0.42	0.13	-0.16
-15.00	-0.13	0.32	0.14	0.19	-0.23
-10.00	-0.15	0.28	-0.03	0.19	-0.22
-5.00	-0.10	0.17	-0.07	0.13	-0.15
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Jamføringane av resultata frå dei to datasetta syner godt samsvar, for det meste er det differansar mindre enn  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  som er kalibreringsuvisse på følarane. Størst differanse finst ved  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ved mælepunkta Eidsborgodden,  $0,42\text{ }^{\circ}\text{C}$ , og ved Totaktunnelen,  $0,32\text{ }^{\circ}\text{C}$  ved  $-15$

°C. Skilnadene som tabell 3.2 viser, er langt mindre enn den uvissa som metoden ventande vil gje ved at føresetnadene for modellen ikkje er strengt oppfylte. Sidan resultatata frå hovuddatasettet spenner over eit noko større temperaturintervall, har vi valt å adoptere dette til vidare analyse.

### 3.2 Metode 2, jamføring av vêrsituasjonar med og utan is. Datagrunnlag frå Botnedalen.

Til skilnad frå Våmarvatnet der det finst open råk heile vinteren, islegg Botnedalsvatnet seg heilt når kulden kjem om hausten. For å finne verknaden av ope vatn, kan ein dermed jamføre temperaturdifferansar før og etter isen har lagt seg. Som vist i tabell 2.3, vart det sett opp mælepunkt i ulike høgder over vatnet hausten 1999. Dei vart haldne i drift til ut i mars 2000. Det øvste mælepunktet vart sett opp på Listøyl, som ligg 882 m o.h. eller 138 m høgre enn det nedste mælepunktet ved Grønbekken, sjå figur 2.3. Det nedste ligg få meter frå vasskanten og må reknast for å vera sterkt påverka av vassyta. Det øvste mælepunktet står så høgt over vatnet at det i liten grad er påverka av vassyta.

Temperaturdifferansen mellom mælepunktet nede ved vatnet (Grønbekken, T1) og det høgt over vatnet (Listøyl, T3) er dermed påverka av om vatnet er islagt eller ikkje. Den gjennomsnittlege temperaturdifferansen mellom mælepunkta når vatnet er ope jamført med når isen ligg, kan skrivast:

$$(6) \quad \Delta T_{1-3} = (T_1 - T_3)_{\text{ope}} - (T_1 - T_3)_{\text{islagt}}$$

Det vart òg sett opp eit mælepunkt ned for Vårfsjøset (T2). På same vis om for Grønbekken kan temperaturdifferansen for mælepunktet ned for Vårfsjøset uttrykkjast ved likning (6) i det T1 blir erstatta av T2.

Om isen på vassyta åleine påverkar temperaturdifferansen,  $\Delta T$ , i likning (6), kunne verknaden av isen funnest direkte ved bruk av likninga. Av dataa kan ein seia med nesten full visse at isen la seg på Botnedalsvatnet den 14. desember. Skal dermed situasjonar med og utan is jamførast, må ein jamføre data frå hausten mot data frå vinteren. Etter som verknaden av isen også er avhengig av temperaturen, vil ikkje slike direkte jamføringar gje litande resultat.

Ein er dermed på jakt etter ein metode der jamføringane mellom dei opne og islagde tilfella kan gjerast under same temperatur ved det mælepunktet som er lite påverka av isen, nemleg Listøyl. Differansen i temperatur mellom mælepunkta vart difor tilpassa ein regresjonsmodell med temperaturen på Listøyl som fri variabel og temperaturdifferansen mellom Grønbekken og Listøyl som avhengig variabel. Likeeins kan gjerast ved bruk av Vårfsjøset i staden for Grønbekken. Den beste tilpassinga til observasjonane ser også denne gongen ut til å vera ei kvadratisk regresjonskurve som difor er innteke i modellen, sjå spreingsplott i appendiks 2, figurane 2 og 4. Koeffisientane i regresjonslikningane er viste i tabell 3.3.

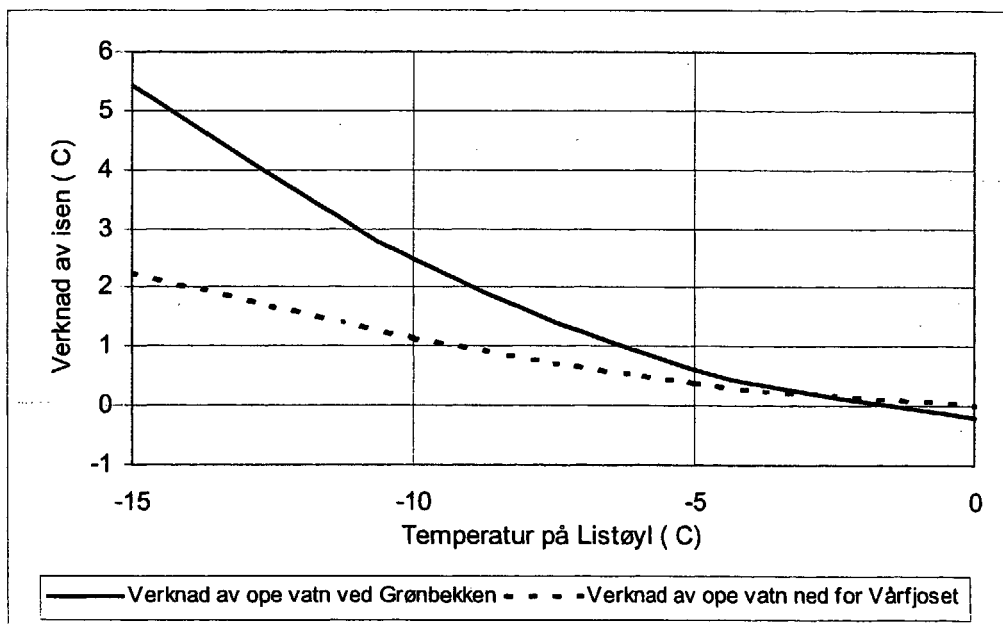
Utover hausten blir det etter kvart kaldare ved vatnet, men temperaturen i vassflata hindrar at det blir særleg kaldt. Temperaturdifferansen mellom mælepunkta endrar seg i middel lite med temperaturen så lenge vatnet er ope, appendiks 2 figurane 1 og 3. Dette blir radikalt endra om isen legg seg på vatnet. Då kan kaldlufta samle seg i dalen slik at lufta er kaldast nede ved

isyta. Den multiple regresjonskoeffisienten er såleis svært liten for tilfella med ope vatn, men er opp mot 0,6 når vatnet er islagt, tabell 3.3.

Tabell 3.3 Kvadratiske regresjonslikningar, alle med Listøyl som fri variabel og differansen mellom mælepunkta Grønbekken (ved vassflata) og Listøyl (T1 – T3), og mellom Vårfjoset og Listøyl (T2 – T3) etter tur som avhengig variabel. Regresjonen vart gjort både for ope og islagt Botnedalsvatn.

Mælepunkt	Koeffisient a (andegrad)	Koeffisient b (fyrstegrad)	Koeffisient c (konstantledd)	Multipel korrelasjons- koeffisient
T1-T3 (ope)	-0,0058	-0,0101	0,75	0.16
T1-T3 (islagt)	-0,0269	0,0487	0,96	0.57
T2-T3 (ope)	-0,0017	-0,0121	0,37	0.09
T2-T3 (islagt)	-0,0092	0,0247	0,36	0.34

Når Botnedalsvatnet er ope, verkar varmetransporten frå vatnet til å bryte ned stabiliteten i lufta. Lagdelinga blir nær indifferent. Det er altså liten samvariasjon mellom temperaturdifferanse og lufttemperatur. Her er det ikkje openbart kva kurvetype som bør veljast, men også i dette tilfelle er valt ei kvadratisk regresjonskurve for eventuelt å fange opp små avvik frå indifferent stabilitet som kan gjera seg gjeldande også ved ope vatn. Men om lineær regresjonsanalyse hadde vore brukt, ville resultatet ikkje vorte særleg ulikt, sjå appendiks 2 figurane 1 og 3. Innsett i likning (6) kan verknaden av isen finnast som ein funksjon av lufttemperaturen på Listøyl, sjå figur 3.5.



Figur 3.5. Verknad av ope Botnedalsvatn ved Grønbekken og nedanfor Vårfjoset som funksjon av temperaturen på Listøyl. Grønbekken ligg 4 m høgre enn HRV og mælepunktet ned for Vårfjoset 31 m over HRV.

Resultata frå diagrammet synest realistiske i det dei lett let seg forklare fysisk:

- 1) Mælepunktet nær inntil vassflata er meir påverka enn det mælepunktet som ligg om lag 30 m over. Grovt sett er verknaden av ope vatn dobbelt så stor nede ved vassflata som 30 m ovafor.



- 2) Di kaldare luft det er på Listøyl di større er verknaden av ope vatn. Nær vassflata øver ope vatn ein verknad på mellom 5 og 6 °C ved -15 °C, mellom 2 og 3 °C ved -10 °C, og berre mellom 0 og 1 °C ved -5 °C.
- 3) Når temperaturen i lufta er nær 0 °C, kan ikkje vatnet varme opp lufta om også temperaturen i vassflata er nær 0 °C. Figuren viser då òg at det ikkje er nokon verknad av isen når temperaturen i lufta er rundt 0 °C. (Konstantledda i tabell 3.3 viser ein skilnad på maksimalt 0,2 °C mellom det opne og islagde tilfellet).

Hovudstasjonen svikta som nemnd ofte vinteren 1999/2000, men dei data som eksisterte i tidsrommet oktober – februar, vart likevel prøvd brukt i statistisk analyse. På same vis om for Grønbekken kan likning (6) brukast til å finne verknaden av ope vatn i det T1 blir erstatta av temperaturen på hovudstasjonen.

Spreiingsplott er viste i appendiks 2, figur 5 for det isfrie tilfellet og figur 6 for det islagte. Om differansen mellom kurvene representerer verknaden av isen, gjev dei om lag same resultat som for Grønbekken, sjå punkt 2 ovafor. Dette resultatet verkar rimeleg sidan hovudstasjonen står i same høgd som mælepunktet ved Grønbekken. Men sidan hovudstasjonen står nærare dammen, kunne ein vente ein tendens til at verknaden av isen var noko mindre der, sidan utstrøyminga av kaldluft skulle kunne føre til meir omrøring av lufta ved dammen.

#### **4 Ein syntese av resultata ved Våmarvatn og Botnedalen, diskusjon.**

Figurane 3.2 frå Våmarvatnet og 3.5 frå Botnedalen kan no jamførast. Det ser ut til at strandområda ved Botnedalen er minst like mykje påverka av ope vatn som dei mest påverka områda ved Våmarvatnet, d.e. tunnelen frå Totak. Den minst påverka staden ved Våmarvatnet, Eidsborgodden, kan sidestillast med Vårfjoset 31 m over Botnedalsvatnet. Her er verknaden berre om lag 1°C ved -10 °C lufttemperatur om ein les direkte ut av kurvene, men vi skal sjå seinare at slik direkte jamføring kan ver noko misvisande.

Av tidlegare undersøkingar om dette emnet kan nemnast Nordli (1981) frå Nordfjord og Hammer (1986) frå Lustrafjorden ein indre fjordarm av Sognefjorden. Resultata frå desse samsvarar godt med kvarandre. Dei gav ein effekt av ope vatn på om lag 2 °C ved -5 °C og om lag 4°C ved om lag -10 °C. Ved -15 °C fann Hammer ein påverknad på 5 °C. Også ved desse undersøkingane var temperaturreferansen teken høgt over det opne vatnet slik som i Botnedalen. Det er difor mest realistisk å jamføre med mælingane derifrå. Det viser seg då at verknaden på lufttemperaturen ved strandkanten ved Botnedalsvatnet var monaleg mindre enn det som Nordli/Hammer fann, knapt 1 °C ved -5°C og under 3°C ved -10 °C. Men ved -15 °C er det samsvar med mælingane frå Sogn.

Nordli og Gjessing (1991) gjorde supplerande granskingar i Lustrafjorden og fann at verknaden av ope vatn på lufttemperaturen ikkje minka nemnande dei nedste 20 meter over fjorden, her var verknaden mest påverka av eksponeringa. Frå denne høgda minka verknaden oppover, men endå i 30 m høgd, var den gjennomsnittlege verknaden nesten 2 °C ved ein referansetemperatur på -10 °C. Dette er vesentleg meir enn på mælestaden nedafor Vårfjoset der verknaden vart funne til 1 °C. Det er mogleg at verknadene av open vassflate i Botnedalen

kan vera svakt underestimerte ved at temperaturen på Listøyl kan vera litt påverka av vatnet. I høgder som Listøyl (142 m over vatnet) kan det dreie seg om 0,5 °C ved -10°C lufttemperatur.

Vasstanden i Botnedalsvatnet varierte noko i testperioden. Ved starten av datasettet den 1. september var vasstanden 6 m under HRV. Han steig og nådde maksimum den 8. november 1 m under HRV. Då den fyrste verkeleg kulden kom med temperaturar ned mot -10 °C den 4. desember, hadde vasstanden gått ned til 3 m under HRV, og då isen la seg den 14. desember, var vasstanden på kote 736 m eller 4 meter under HRV. Då kulden kom stod mælepunktet Grønbekken i realiteten ikkje i strandkanten, og det kan også vera ei kjelde til ein svak underestimering av verknaden av ope vatn i Botnedalen. Etter at isen hadde lagt seg, reknar ein ikkje med at vasstanden i magasinet spela noka rolle for resultatet. Likevel skal nemnast at vasstanden i magasinet 29. februar var 21 m under HRV.

Å jamføre direkte mellom diagramma for Våmarvatnet og for Botnedalen, kan gje urealistiske utslag fordi horisontal akse er ulik på dei to diagramma. På figur 3.2 for Våmarvatnet er horisontal akse temperaturen ved Langetjørn der det ofte legg seg inversjonar; på figur 3.5 derimot, er horisontal akse temperaturen på Listøyl 142 m over Botnedalsvatnet. Staden ligg dermed ofte over inversjonslaget og det har ikkje lett for å bli like kaldt ved Listøyl som ved Langetjørn.

Den mest realistiske måten å studere verknaden av ope vatn på, vil vera å simulere verknaden over ein lengre periode. No finst det ikkje lange seriar korkje for Langetjørn eller for Listøyl og det blir difor naudsynt å generere seriar lengre tilbake i tid enn det finst observasjonar ved mælepunkta. For ein slik analyse eignar stasjonen 31620 Møsstrand II seg godt etter som han har gått samanhengande i 20 år og har eit liknande klima som ein finn i prosjektområdet.

Verknaden av ope vatn gjer seg mest gjeldande på kaldaste vinteren. Såleis er månadene januar og februar valde ut til granskinga. På Møsstrand blir det observert tre gonger for dagen kl. 07, 13 og 19. For å få eit best mogleg estimat av temperaturen ved mælepunkta, vart det naudsynt også å bruke vindstyrken og skydekket ved sidan av temperaturen som grunnlag for simuleringa. Metoden som vart vald, er multippel regresjonsanalyse. Resultata er gjevne i tabell 4.1.

Tabell 4.1 Multippel, lineære regresjonslikningar, alle med temperatur, vind og skydekke på Møsstrand II som frie variablar, og temperaturen ved Langetjørn og på Listøyl valde etter tur som avhengige variablar

Mælepunkt	Koeffisient temp. (°C)	Koeffisient vind (m/s)	Koeffisient skydekke (åttedelar)	Koeffisient konstantledd (°C)	Multiple korrelasjonskoeffisient
Langetjørn	1.038	0.205	0.220	-1.574	0.93
Listøyl	0.867	-0.0708	-0.139	2.057	0.93

Regresjonslikningane i tabell 3.4 viser tydeleg skilnaden på stadene Langetjørn og Listøyl. Koeffisienten framfor temperaturleddet er større enn 1 for Langetjørn og mindre enn 1 for Listøyl. Om vêret er kaldt, simulerer temperaturleddet dermed isolert sett lågare temperatur ved Langetjørn enn på Møsstrand, men høgare ved Listøyl. I same lei verkar konstantleddet, til høgare temperatur på Listøyl. Om det er sterk vind eller mykje skyer derimot, verkar den større høgda på Listøyl til å redusere temperaturen der i høve til Langetjørn som då ikkje får like

sterke inversjonar. Likningane let seg såleis lett tolke fysisk, og den samla (multiple) korrelasjonskoeffisienten er så høg som 0,93. Ved bruk av regresjonslikningane vart temperaturen ved Langetjørn og på Listøyl rekna ut i dei 20 åra det har vore observert ved Møstrand II, frå 1981 til 2000.

Framfor å gje middelendringa for kvart år, er det meir illustrerande å vise talet på tilfelle for kvart år der verknaden har vore over visse grenser. Grensene 2 °C, 4 °C og 6 °C vart valde. Det er ikkje tilrådeleg å telja opp større verknader enn dette, fordi det i perioden er få data for ekstra kaldt vêt. Spesielt er det tilfelle for granskingane i Botnedalen der berre data finst for vinteren 1999/2000 som var særleg mild. No som før er verknaden av ope vatn ved Våmarvatnet funne av likning (5) med innsetjing av likningane i tabell 3.1. Dette er også vist grafisk i figur 3.2. For Botnedalen er verknaden vist på figur 3.5 som er funne ved likning (6) innsett likningane frå tabell 3.3. Ved å ordne ledda ser ein at verknaden av open vatn i Botnedalen kan skrivast som ei andregradslikning.

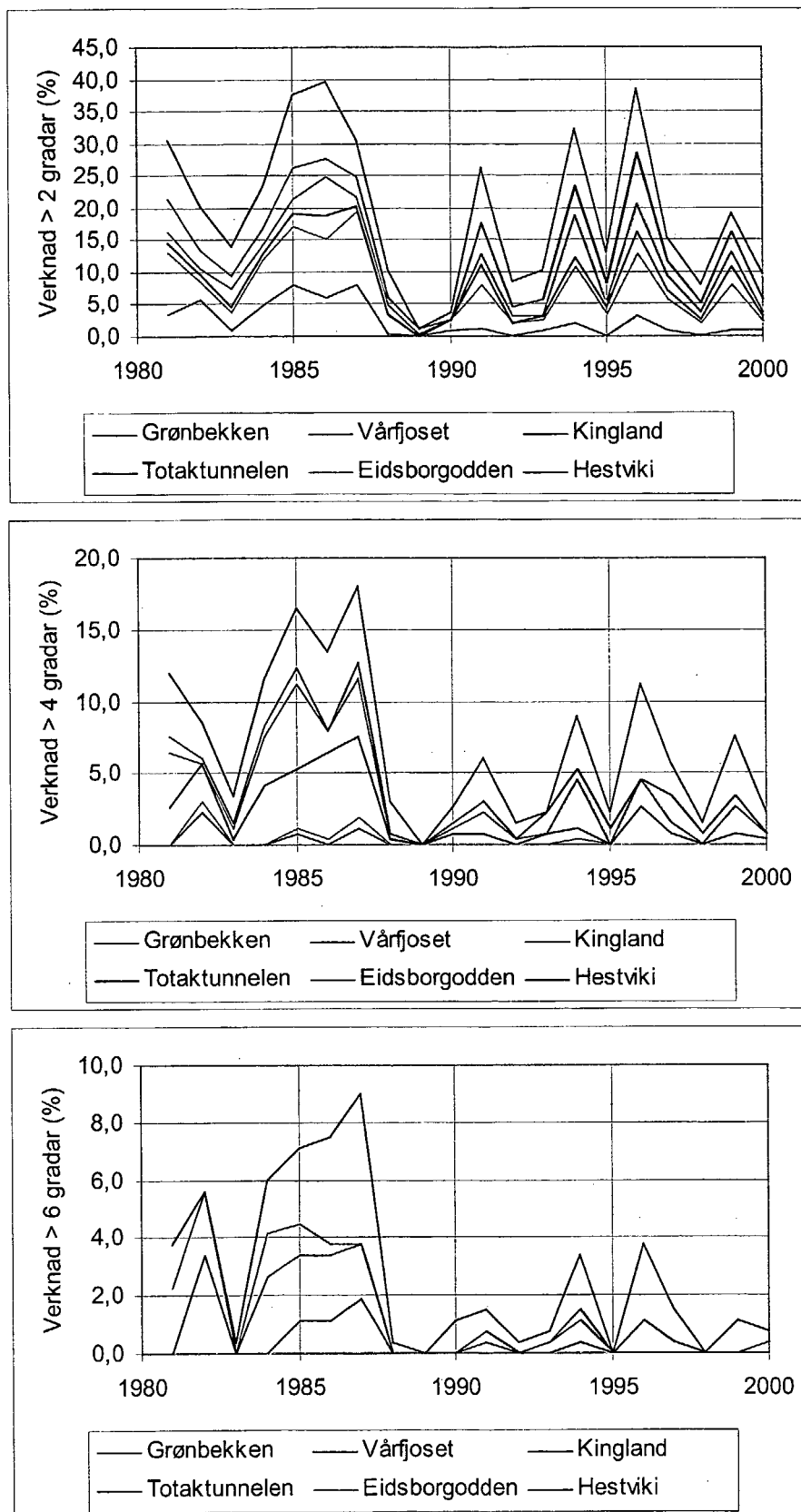
Tabell 4.2. Verknader av ope vatn ved Grønbekken og Vårfjose. Som fri variabel er brukt temperaturen på Listøyl.

Målepunkt	Koeffisient a (andregrad)	Koeffisient b (fyrstegrad)	Koeffisient c (konstantledd)
Grønbekken	0.0211	-0.0588	-0.21
Vårfjose	0.0075	-0.0368	0.01

For dei ulike målepunkta er resultatane viste på figur 4.1, ein figur for kvar grenseverdi. Resultatane er gjevne i prosent av alle tilfelle, 177 eller 180 til saman per vinter, d.e. for januar og februar ved observasjonstidene 07, 13 og 19 CET. Langneset er ikkje med på figuren, men verknaden på Langneset kan likevel lesast frå kurva for Totaktunnelen då det for alle praktiske føremål er same kurva.

Det som karakteriserer resultatane er den store variasjonen frå år til år. I 1986 var det ved Totaktunnelen ein verknad på minst 2 °C i 40 % av tida, medan det i 1989 nesten ikkje var noko tilfelle. Elles er det store variasjonar også i 1990-åra. Det same mønsteret går òg att om ein ser på tilfelle over 4 °C. Her er det særleg vintrane 1985 til 1987 som slår ut med høge verdiar, om lag 19 % i 1987. Studerer ein verknader over 6 °C, finn ein svært få slike tilfelle for dei målepunkta som er minst påverka av vatnet; for Eidsborgodden og Vårfjose er det ingen.

Jamføringa mellom dei to områda Botnedalen og Våmarvatnet er no reell sidan nett dei same vintrane blir jamførde og realistiske temperaturar innsette i likningane for Langetjørn og Listøyl. Då viser det seg at det er ved Totaktunnelen og Langneset at verknaden er størst av ope vatn. Dinest fylgjer Kingland ved Våmarvatn og Grønbekken ved Botnedalsvatn. Dette er stader som står like ved vatna utan å vera spesielt godt eksponerte, som til dømes om målepunkta hadde stått på nes. Mindre påverknad frå vatnet har Eidsborgodden endå om det er ein odde som stikk ut i vatnet og avstanden til ope vatn berre er 100 m eller mindre. Men kaldluftsstraumen frå områda ved Langetjørn passerer staden utan å passere ope vatn sidan vika nordafor odden er islagt.



Figur 4.1 Verknad av ope vatn på lufttemperaturen på land ved observasjonstidene 07, 13 og 19 CET, gjeve som talet på tilfelle større enn visse grenser i % av det moglege. Verknaden er simulert for stader ved Våmarvatnet og Botnedalen i januar og februar i tidsrommet 1981 – 2000. Dei brukte grensene for verknaden er: 2 °C (øvt), 4 °C (i midten) og 6 °C (nedst). For Eidsborgodden og Vårfjose er det ingen verknad av ope vatn over 6 °C.

Minst påverknad er staden nedafor Vårfjoset i Botnedalen som ligg om lag 30 m over vatnet i ein avstand av 100 m frå vatnet ved fullt magasin. Her er det berre i dei kaldaste vintrane at så mykje som 5 % av tilfella er påverka av vatnet minst 2 °C.

Denne rapporten vist at terrengeffektar kan ha mykje å seia for den verknaden på lufttemperaturen som ei open vassflate øver. Tidlegare granskingar har truleg ikkje vore detaljerte nok til å oppdage desse. Rett nok skilde Nordli og Gjessing (1991) mellom nes og rette strekningar langsetter Lustrafjorden då dei greidde ut verknaden der. Likevel er det ingenting i tidlegare litteratur som tyder på at nokon har lagt til grunn at skilnadene kunne vara så store som vist i tabell 3.2. Til fulle har det vist seg at å bruke avstanden til ope vatn som den einaste viktige parameteren, kan gje heilt galne resultat.

Ein kan også spørja om feilkjeldene ved metoden har vore årsak til desse uvanlege resultatata. At så skulle vera tilfelle, er lite sannsynleg fordi det mønsteret som granskinga har gjeve lett har late seg tolke fysisk. Ei anna sak er at med så sjeldan kulde som det har vore i prosjektperioden, vart ikkje ekstreme situasjonar med i dataa i stor nok grad. Ein ekstrapolasjon mot lågare temperaturar enn det som er målt, er ikkje tilrådeleg. Små feil i andregradskoeffisienten kan t.d. gje store utslag i resultatet. Dessutan kan jo også råker minke sterkt i ekstrem kulde og skape andre tilhøve enn dei som rådde då kurvene vart tilpassa.

## **5 Overføringsverdi til vassdrag med sterk døgnleg effektregulering**

I prinsippet spelar det inga rolle korleis den opne vassflata er komen i stand for dei resultatata som er funne, om det er på grunn av konvensjonelle kraftverk eller om flatene er komne i stand ved intensiv effektregulering. Difor kan resultatata her i prinsippet overførast til alle typar vasskraftproduksjon som skaper isfrie flater om vinteren. Ein treng ved overføring ikkje ta omsyn til kva som har skapt dei opne flatene, men derimot til skilnadene i klima frå den staden der resultatata er funne til den staden der dei skal brukast. Ein må òg merke seg spesielle terrengeffektar som eventuelt kan gjera seg gjeldande der effektregulering er planlagt.

Verknadene ved effektregulering kan lettast konkretiserast ved eksempel og då vil vi bruke Våmarvatn og Vinjevatn der vi kjenner tilhøva godt takk vera prosjektet.

*Våmarvatnet.* Slik som tunnelen frå Totak er dimensjonert i dag, er kapasiteten for liten til at straumen av vatn frå Totak kan halde tritt med effektkøyringane i Vinje kraftverk. Dermed ville vasstanden i Våmarvatnet bli liggjande å pendle 1-2 m over døgnnet om det hadde vore effektkøyring i Vinje kraftverk, medan den maksimale innstrøyminga ikkje ville ha endra seg stort. Hovudstraumen ville gå langsetter vatnet om lag på midten av vatnet i open råk, for etter ei tid å dukke under isen. Dette er også den situasjonen som rår i dag.

Det som ein mest skulle akte på ved ei effektregulering, er at isen sprekk opp på grunn av alle variasjonane i vasstanden. Sjølv i eit effektregulert Våmarvatn, blir isen liggjande inne ved land, men med små isflak og issørpe innimellom. I landisen er det mest ikkje ope vatn, men også gjennom sørpe og blankis kan det gå store varmemengder. Det er særleg der isen er dekt av snø at varme blir hindra frå å trengje ut av varmemagasinet under. I dag er landisen meir stabil og er dekt av eit isolerande snølag.

Endringar ved effektkøyring ville det ikkje vore ved den mest påverka staden, like ved Totaktunnelen, men andre stader, som til dømes ved Eidsborgodden, kunne det ha vorte monaleg mildare, om sørpe og snøfrie isflak dekte ein vesentleg del av arealet i vika.

*Vinjevatnet.* Under effektkøyring med Tokke kraftverk i streng kulde blir vatnet islagt om natta med 1-3 cm tjukk is. Om morgonen når kraftverket blir starta, bryt straumen opp råka, og sjølv om straumen er sterkare enn ved jamn køyring, blir råka neppe større. Det nydanna isdekket toler ein viss overtemperatur i vatnet før isen smeltar. Om dagen går varmetransporten frå vatn til luft om lag som før og det blir ingen spesiell verknad av effektkøyringa jamført med noverande drift av kraftverket. Om natta hindrar isen ein del av varmetransporten til lufta, men er ikkje nokon god isolator om det ikkje fell snø på han. Effekten er likevel stor nok til at det kan bli litt kaldare med effektregulering på utsette stader i strandsona der vatnet er ope i dag.

I mildare vêr frys ikkje Vinjevatnet til om natta sjølv om kraftverka står, og når køyringa startar att smeltar isen der vasstemperaturen er over frysepunktet. Råka blir då større ved effektkøyring enn ved jamn køyring, men varmetransporten frå vatnet er liten, slik at ein ikkje får nokon vesentleg verknad på lufttemperaturen i strandsona ved ei effektkøyring av kraftverket.

*Botnedalsvatnet* har vore vurdert som ein mogleg stad for eit pumpekraftverk køyrt på døgnbasis. Varmt vatn blir då ført opp i Botnedalsvatnet som på grunn av relativt lite areal kan ventast å pendle sterkt opp og ned. Vatnet ville ha vanskar med å isleggje seg nær kraftverksinntaket/utlaupet, og ein ville fått dei effektane av den opne vassflata som denne rapporten viser.

## **6 Samandrag og konklusjon**

Ope vatn i vinterkulde verkar objektivt sett til å dempe kulden, men sidan det ofte dannar seg tåke (frostrøyk) over slike flater, kan likevel verknaden av den opne vassyta bli oppfatta som ei negativ endring for dei som bur i området.

Di kaldare lufta er, di sterkare er påverknaden frå vatnet. Ved tidlegare granskingar har avstanden til ope vatn og høgd over vassflata vore rekna for å vera dei langt viktigaste faktorane. Det som denne granskinga tydeleg gav til kjenne, var store variasjonar frå stad til stad også om høgd over vatnet og avstanden til ope vatn var om lag dei same. Ved ein upåverka lufttemperatur på  $-20\text{ °C}$  gav vatnet ein oppvarmingseffekt på  $6\text{ °C}$  på den mest påverka staden, medan den minst påverka berre fekk ein effekt på knapt  $3\text{ °C}$ .

Generelt er det slik at nes som stikk langt ut i vatnet blir meir påverka av den opne vassflata enn område nær stranda der strandlina er bein. Og verknaden i viker er generelt mindre enn ved stader med bein strandline. Dette vart granska ved Våmarvatnet ved at eit mælepunkt nettopp vart plassert i ei vik (Hestviki). Ein påverknad på  $4\text{ °C}$  vart funne ved  $-20\text{ °C}$  lufttemperatur, referert til ein upåverka stad.

Effekten på lufttemperaturen av open vassyte var òg sterkt avhengig av strøymingsbiletet i området. Dette er ofte stasjonært i kuldebolkar, det same mønsteret går att frå gong til gong. Våmarvatnet viste fram eit skuleeksempel på dette. Kaldluft seig inn frå det vide området ved Langetjørn i vika nordafor Eidsborgodden, og vart lite påverka før ho nådde ope vatn. Der

vart ho vermt opp, fylgde straumen mot sør langsetter vatnet og nådde iskanten. Deretter heldt ferda fram over is/snøflate, og då ho nådde Langneset, hadde ho gått fleire hundre meter over is/snø sidan ho var ved iskanten. Likevel var lufta enno sterkt påverka av det opne vatnet. Ein har fylgjande regel:

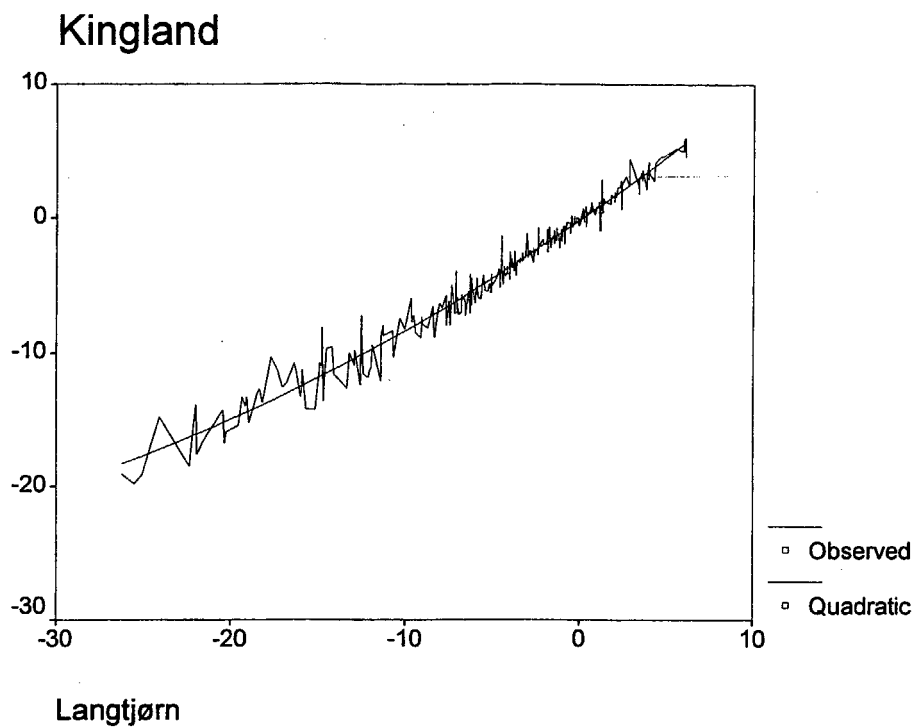
Der kaldluft sig *ned mot* vatnet, særleg der kaldluftslaget er tjukt, er lufta lite påverka av ope vatn før straumen når heilt over vassyta. Der luft blir ført *frå* det opne vatnet, er lufta allereie vorten vermt opp over ei viss tid, og verknaden er større

Mælingane i Botnedalen viste verknader av den opne vassyta på 2 - 3 °C ved lufttemperatur på -10°C. Dette er noko mindre verknad enn det som har vore funne ved tidlegare granskningar.

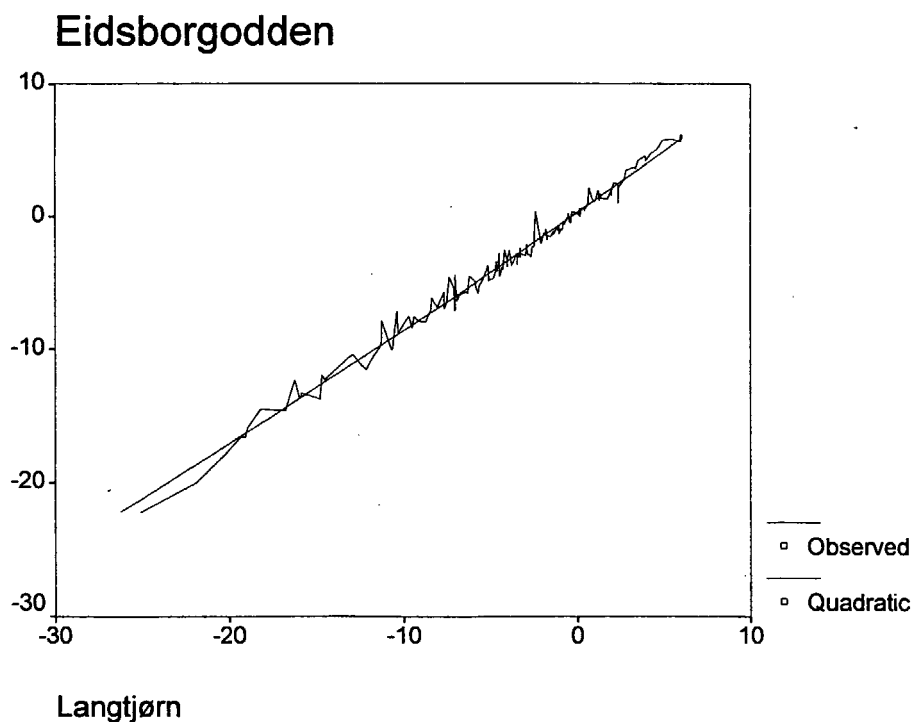
## 7 Litteratur

- Utaaker, K. 1993: Virkninger av vassdragsreguleringer på lokalklimaet. NVE, publikasjon nr. 12. Oslo, 119 pp.
- Gjessing, Y og Nordli, P.Ø. 1991: Lustrafjorden -klimaskjønn - del I. Klimaendringer ved regulering av Fortun/Grandfaste og Leirdøla. *DNMI - klima*, rapport nr. 45/91.
- Hammer, T.M. 1986: Klima og frostskaudegranskning i Luster. Istilhøva i Lustrafjorden og verknaden av isen på det lokale vinterklimaet. Meteorological Report Series, Universitetet i Bergen, nr. 2, 102 pp.
- Nordli, P.Ø. 1981. Klimaverknad på grunn av is i indre Nordfjord og Lovatnet. DNMI, Klima, nov. 1981, nr. 4, 3-16.

# Appendiks 1



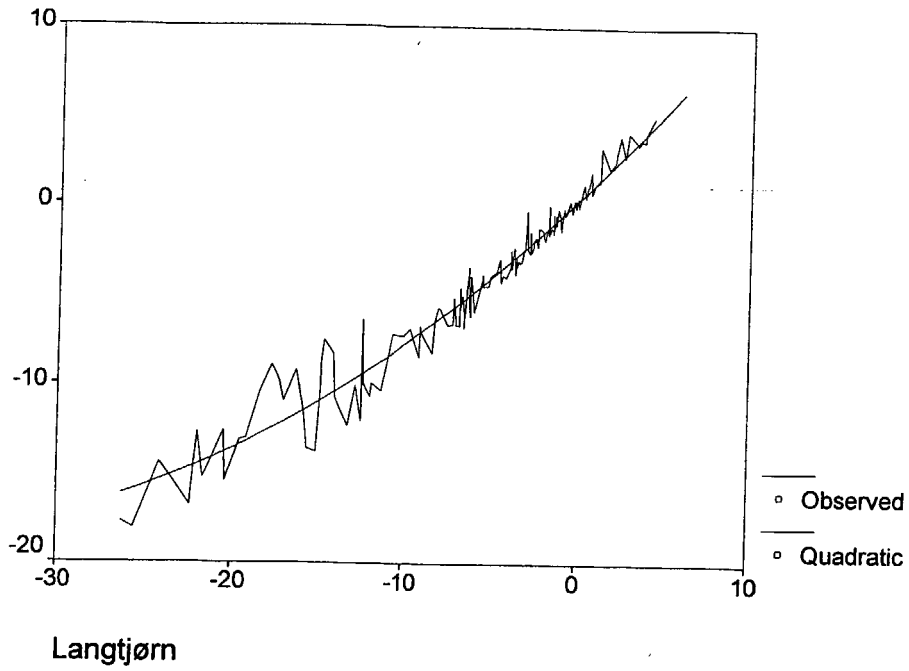
Figur 1 Kurvetilpassing ved hjelp av andregrads regresjonskurve. Temperaturen på Kingland som funksjon av temperaturen ved Langetjørn, alle observasjonane er middel i tida kl. 01 - kl.07.



Figur 2 Kurvetilpassing ved hjelp av andregrads regresjonskurve. Temperaturen på Eidsborgodden som funksjon av temperaturen ved Langetjørn, alle observasjonane er middel i tida kl. 01 - kl.07.

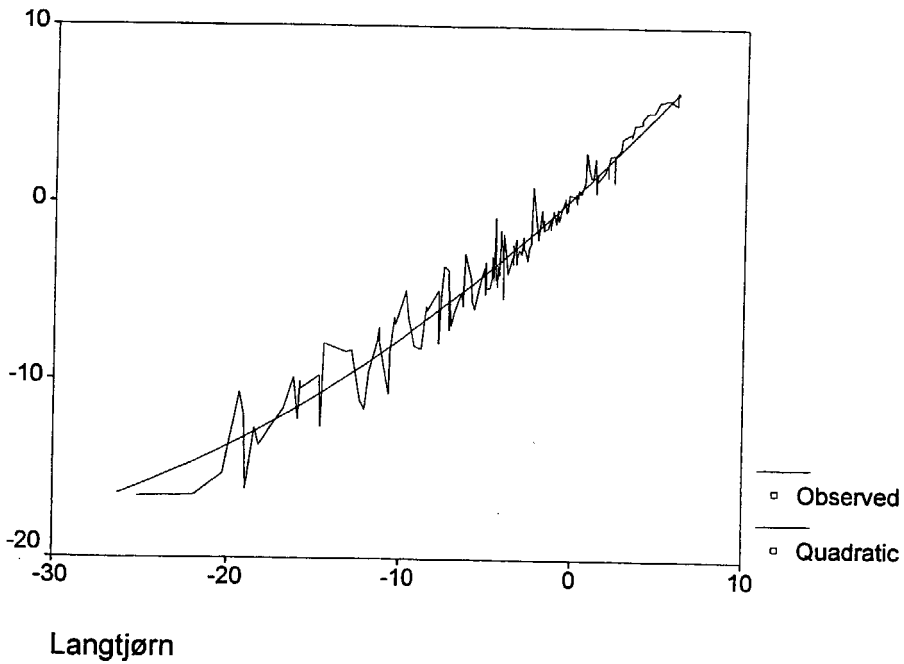


### Totaktunnelen

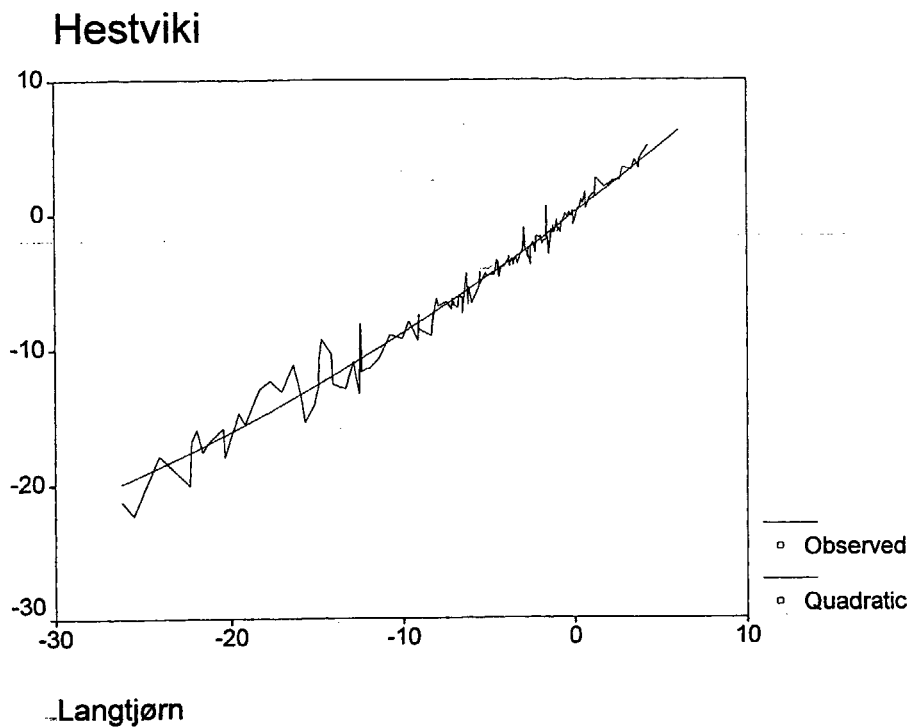


Figur 3 Kurvetilpassing ved hjelp av andregrads regresjonskurve. Temperaturen ved Totaktunnelen som funksjon av temperaturen ved Langetjørn, alle observasjonane er middel i tida kl. 01 - kl.07.

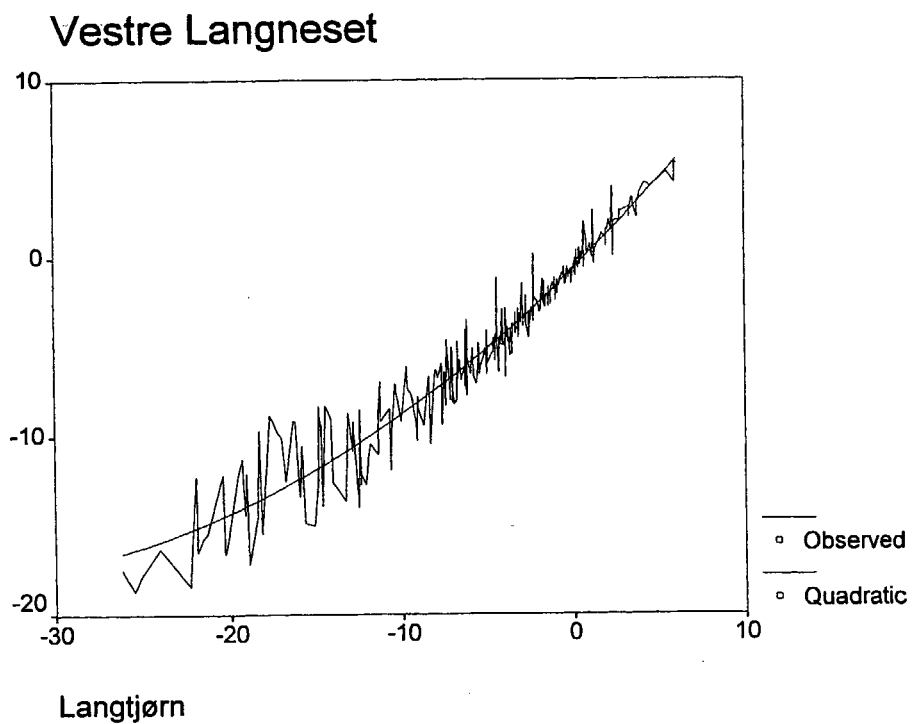
### Austre Langneset



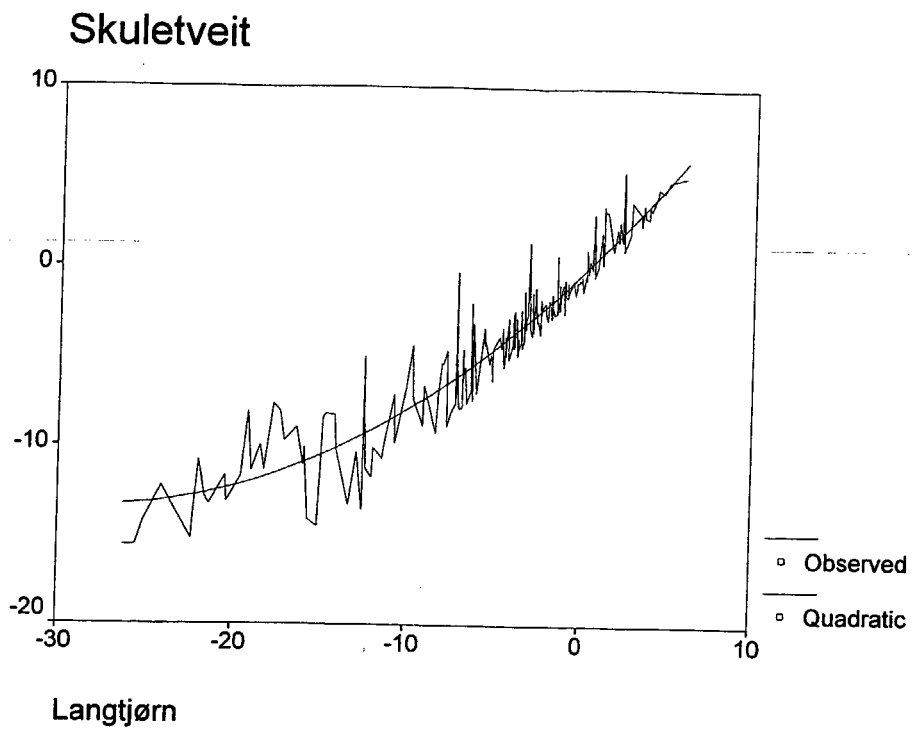
Figur 4 Kurvetilpassing ved hjelp av andregrads regresjonskurve. Temperaturen på Austre Langneset som funksjon av temperaturen ved Langetjørn, alle observasjonane er middel i tida kl. 01 - kl.07.



Figur 5 Kurvetilpassing ved hjelp av andregrads regresjonskurve. Temperaturen i Hestviki som funksjon av temperaturen ved Langetjørn, alle observasjonane er middel i tida kl. 01 - kl.07.

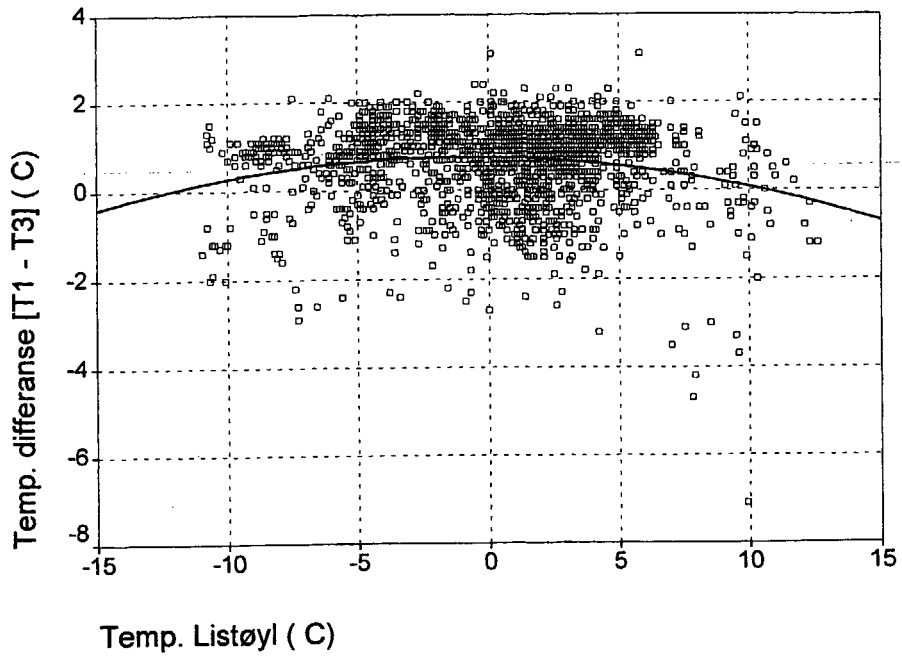


Figur 6 Kurvetilpassing ved hjelp av andregrads regresjonskurve. Temperaturen på Vestre Langneset som funksjon av temperaturen ved Langetjørn, alle observasjonane er middel i tida kl. 01 - kl.07.



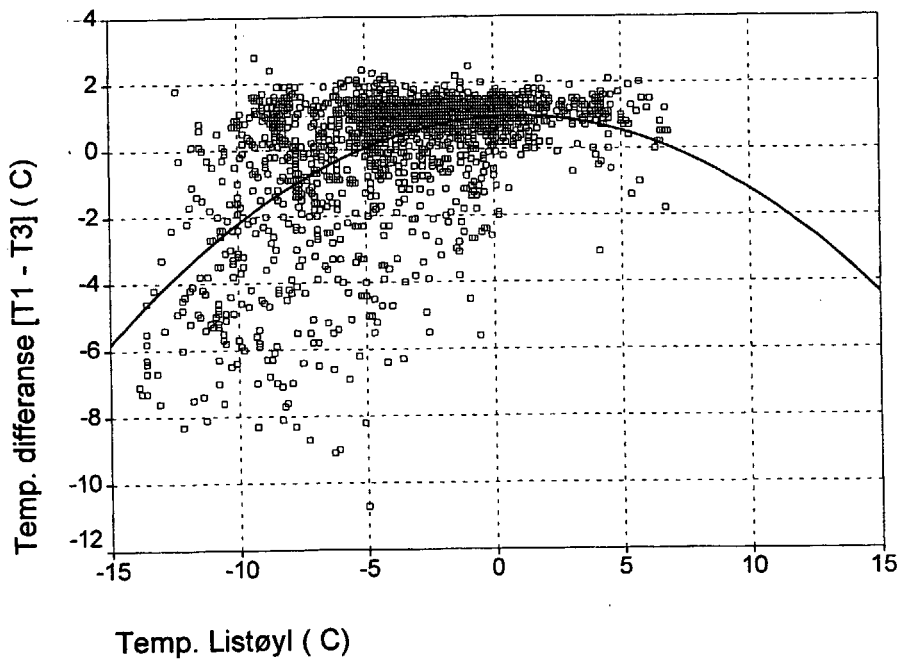
Figur 7 Kurvetilpassing ved hjelp av andregrads regresjonskurve. Temperaturen på Skuletveit som funksjon av temperaturen ved Langtjørn, alle observasjonane er middel i tida kl. 01 - kl.07.

### Ope Botnedalsvatn



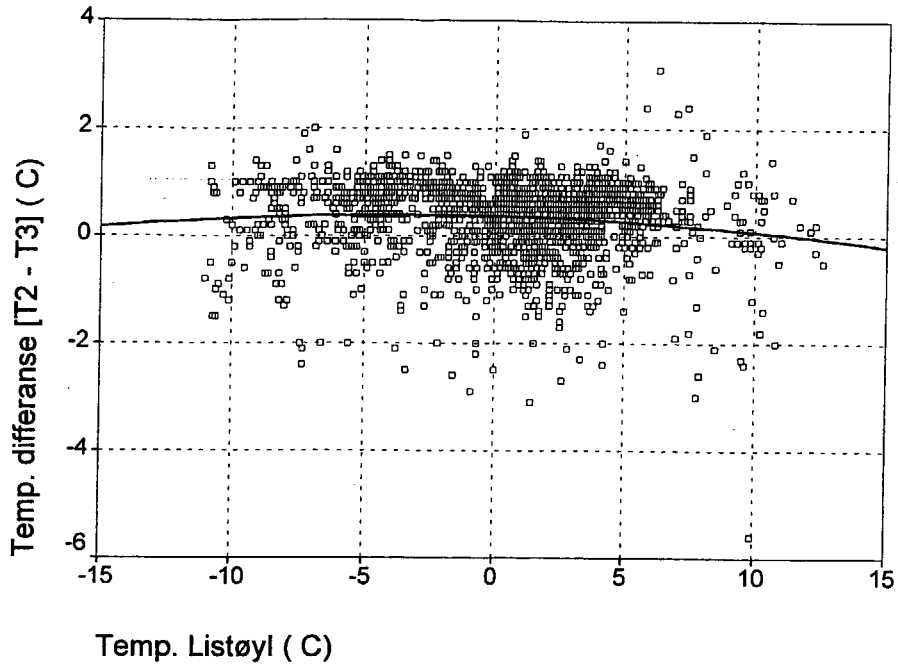
Figur 1 Temperaturdifferanse mellom målepunkt 1 ved Grønbekken og målepunkt 3 på Listøyl ved ope Botnedalsvatn. Periode: 1. okt. 1999 - 29. feb. 2000.

### Islagt Botnedalsvatn



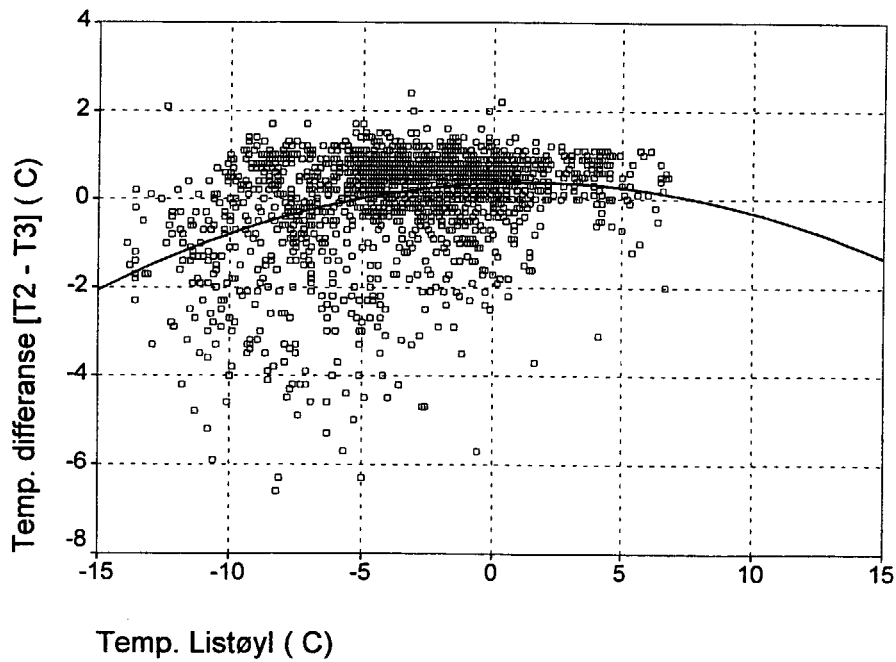
Figur 2 Temperaturdifferanse mellom målepunkt 1 ved Grønbekken og målepunkt 3 på Listøyl ved islagt Botnedalsvatn. Periode: 1. okt. 1999 - 29. feb. 2000.

### Ope Botnedalsvatn



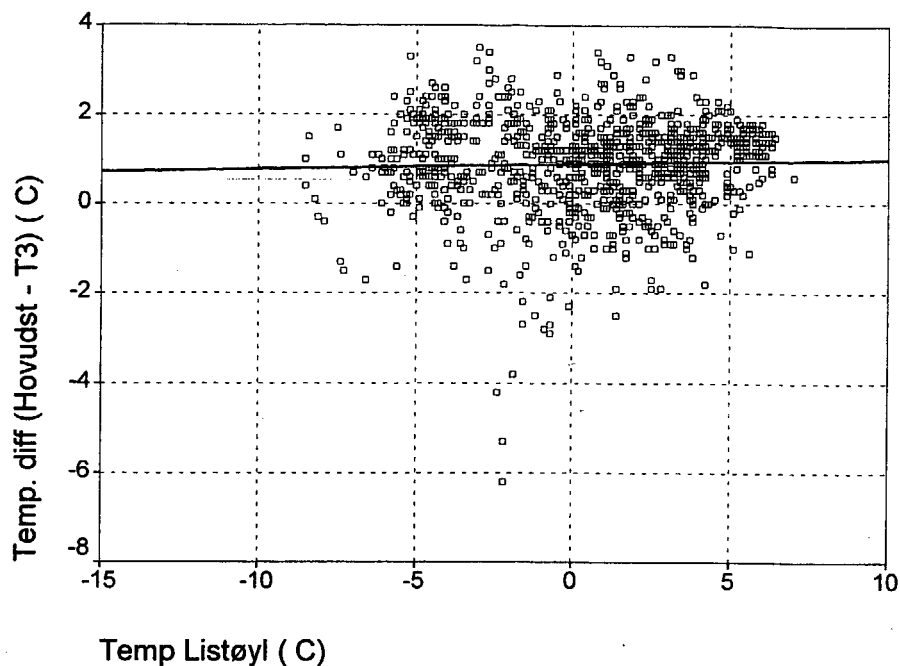
Figur 3 Temperaturdifferanse mellom mælepunkt 2 ved Vårfjoset og mælepunkt 3 på Listøyl ved ope Botnedalsvatn. Periode: 1. okt. 1999 - 29. feb. 2000.

### Islagt Botnedalsvatn



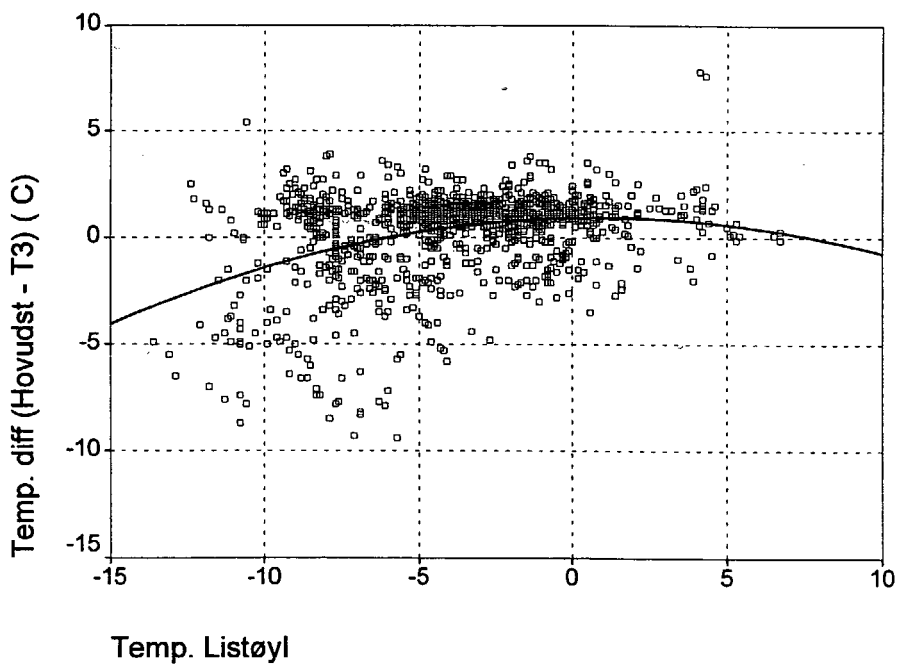
Figur 4 Temperaturdifferanse mellom mælepunkt 2 ved Vårfjoset og mælepunkt 3 på Listøyl ved islagt Botnedalsvatn. Periode: 1. okt. 1999 - 29. feb. 2000.

## Ope Botnedalsvatn



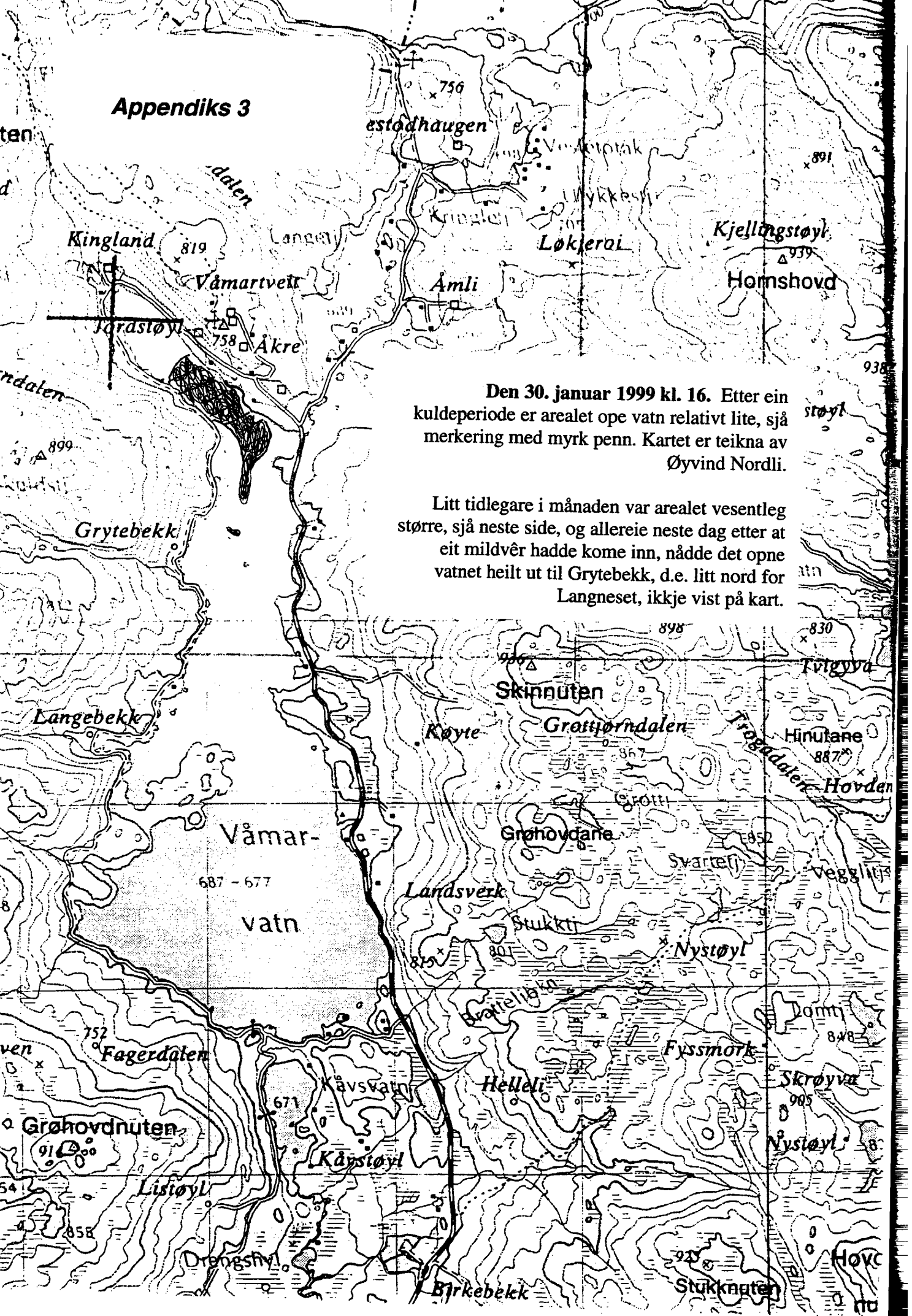
Figur 5 Temperaturdifferanse mellom hovudstasjonen i Botnedalen og målepunkt 3 på Listøyl ved ope Botnedalsvatn. Periode: 1. okt. 1999 - 29. feb. 2000.

## Islagt Botnedalsvatn



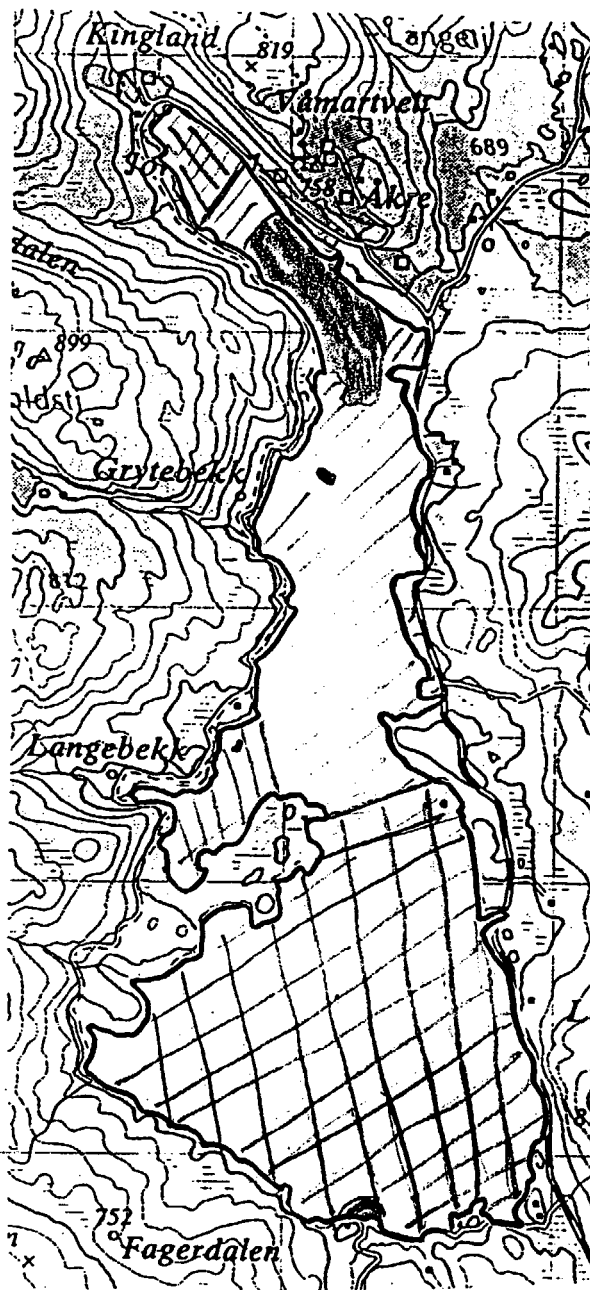
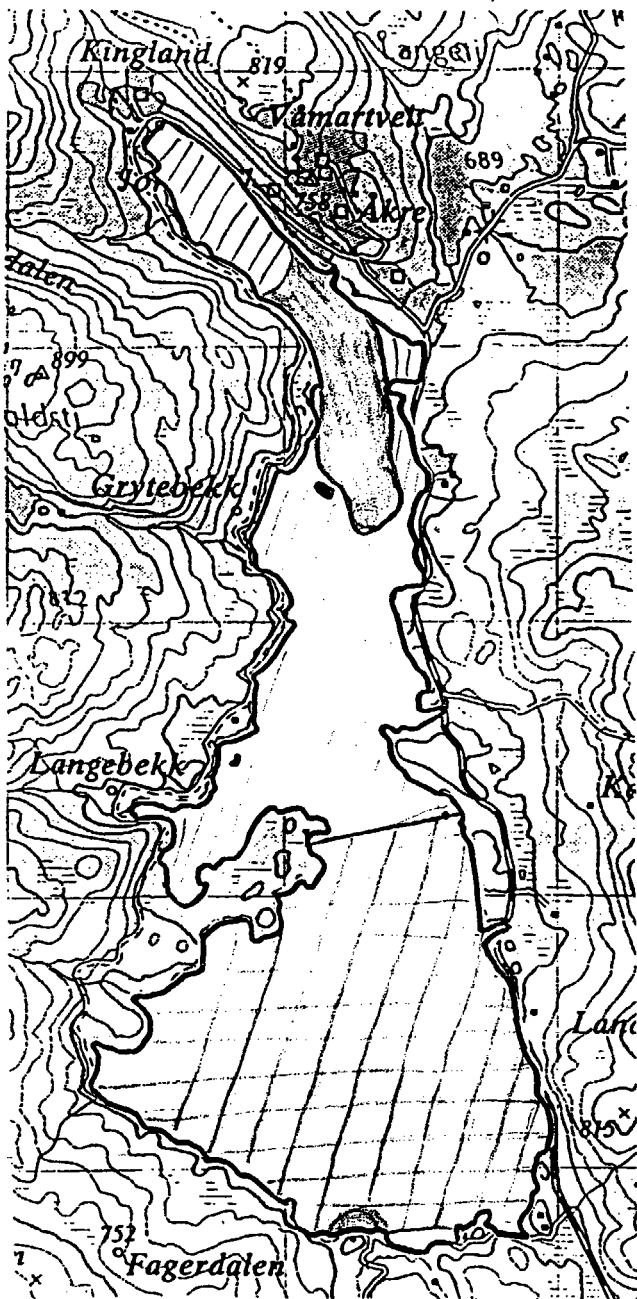
Figur 6 Temperaturdifferanse mellom hovudstasjonen i Botnedalen og målepunkt 3 på Listøyl ved islagt Botnedalsvatn. Periode: 1. okt. 1999 - 29. feb. 2000.

### Appendiks 3



Den 30. januar 1999 kl. 16. Etter ein kuldeperiode er arealet oppe vatn relativt lite, sjå merkering med myrk penn. Kartet er teikna av Øyvind Nordli.

Litt tidlegare i månaden var arealet vesentleg større, sjå neste side, og allereie neste dag etter at eit mildvær hadde kome inn, nådde det oppe vatnet heilt ut til Grytebekk, d.e. litt nord for Langneset, ikkje vist på kart.



Dato: 9-1-99

Dato: 22-1-99

Kommentarer:

Kommentarer:

Antek at isen  
Er gangbar som  
vist på skisse

	Åpent vann
	Sørpe
	Drivis
	Islagt, ikke gangbar
	Gangbar is
	Kjørbar is
	Området er ikke observert

Råker og smale partier med  
åpent vann farges rødt

Observatør: Erling Frossbelevik