

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING  
Blindern

O - 167/73

VURDERING AV VANNINNTAK FRA NORSJØ  
FOR  
NORSK HYDRO A/S, OSLO

Saksbehandler: sivilingeniør Birger Bjerkeng

Rapport avsluttet: desember 1973

## INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
<u>Hovedrapport</u>	
1. INNLEDNING	4
2. PROBLEMSTILLING	4
3. DATA	5
1. Geografiske og topologiske data	5
2. Inntaksdata	5
3. Temperaturdata	5
4. BESKRIVELSE AV NÅVÆRENDE SITUASJON	6
5. VIRKNINGEN AV ØKT TOTALINNTAK PÅ TEMPERATUREN I DET NÅVÆRENDE INNTAK	10
6. KONKLUSJONER	15
 <u>Figurer</u>	
Figur 1. Dybdekart over Norsjø	17
Figur 2. Fjærekilen med målestasjoner og inntak	18
Figur 3. Temperaturprofiler	19
Figur 4. Inntakstemperaturer, og temp. i overflate og 45 meters dyp i stasjon 1 som funksjon av dyp	20
Figur 5. Sprangsjiktet i stasjon 1 som funksjon av tid	21
Figur 6. Temperaturforløp i eksisterende inntak for nåværende og planlagt situasjon	22

<u>Tabeller</u>	Side:
Tabell 1.a-d. Temperaturmålinger, stasjon 1-3	23-26
Tabell 2. Inntakstemperaturer	27
Tabell 3. Sprangsjiktets dyp i stasjon 1	28
Tabell 4. Observert forskyvning av sprangsjiktet mellom stasjonene i Fjærekilen	29
Tabell 5. Økning av sprangsjiktets dyp i stasjon 1 p.g.a. økt helning ved større vanninntak	30

APPENDIKS. Beregning av skråstilling av sprangsjiktet i Fjærekilen.

A.1. Presentasjon av modellen	31
A.2. Anvendelse av modellen	33
A.3. Effekt av vanninntak isolert	34
A.4. Effekt av vanninntak sammen med annen strøm	35

Tabeller

Tabell A.1. Utgangsdata	37
Tabell A.2. Sjiktningsparametre	38
Tabell A.3. Beregningsresultat	39

LITTERATURLISTE	40
-----------------	----

## 1. INNLEDNING

Norsk Hydro A/S henter i dag ferskvann til sine industrier på Herøya fra sørenden av Norsjø, i Fjærekilen.

Inntaket er plassert på 45 meters dyp, og gir størstedelen av året vann med en temperatur på 4-5 °C.

Et nytt inntak planlegges. Det skal plasseres litt lenger ut mot hovedbassenget i Norsjø, og på 60 meters dyp.

Norsk Hydro har i skriv av 5. november 1973 bedt Norsk institutt for vannforskning (NIVA) vurdere om det nye inntaket kan påvirke sjiktningen i Fjærekilen slik at vanntemperaturen i det gamle inntaket endres. En vesentlig økning av denne temperaturen ønskes unngått.

## 2. PROBLEMSTILLING

En uttapping av vann under sprangsjiktet i en innsjø har generelt følgende virkning:

1. En horisontal trykkgradient må settes opp i vannmassene for å drive en strøm frem mot vanninntaket, hovedsakelig for å overvinne friksjon. Ved små inntaksmengder skjer dette ved helning av sprangsjiktet. Økende vanninntak kan etter hvert gi så stor helning at sprangsjiktet trekkes helt ned mot inntaket, som da vil ta vann fra begge de to lagene.

Vanligvis vil sprangsjiktet i en innsjø svinge p.g.a. skiftende vindinduserte strømmer, og mer permanente helninger kan tenkes ved sirkulasjon indusert av f.eks. gjennomstrømming av elvevann. Virkningen av vanninntaket må da vurderes i sammenheng med dette.

2. Kaldtvannsreservoaret under sprangsjiktet tappes, dette gjør at sprangsjiktet får dypere beliggenhet sent på sommeren enn det ellers ville hatt.

Med utgangspunkt i foreliggende data skal vi forsøke å vurdere hvordan disse to effektene kan tenkes å påvirke temperaturforholdene.

### 3. DATA

#### 3.1 Geografiske og topologiske data

Fjærekilen er en lukket arm av Norsjø sør for elveutløpet ved Skotfos. Figur 1 er et dybdekart over Norsjø, og figur 2 viser Fjærekilen mer detaljert. Langs inntegnet lengdeakse i figur 2 er den ca. 7 km, og største dyp varierer nokså jevnt langs aksen fra 110 meter i hovedbassenget. Det er ingen terskler. Tverrsnittet varierer sterkt langs lengdeaksen, de to minste tverrsnitt i kilen er tegnet inn på figur 2.

#### 3.2 Inntaksdata

Et eksisterende vanninntak tar inn ca.  $7-8 \text{ m}^3/\text{s}$  fra 45 m dyp, den omtrentlige plassering er vist i figur 2. Inntakene skjer ved 2 rør á 1,7 m diameter, dette gir en inntakshastighet på ca. 1,5 m/s.

Det nye inntaket planlegges ca. 400 m lenger ut mot hovedbassenget, se figur 2. Det vil bli et tunnelinntak med tverrsnitt  $8-10 \text{ m}^2$ , plassert på 60 m dyp.

Samlet vannføring i de to inntakene blir ca. det dobbelte av i dag, med en fordeling på ca.  $11-12 \text{ m}^3/\text{s}$  i det nye og ca.  $4-5 \text{ m}^3/\text{s}$  i det gamle inntaket. Inntakshastighet blir ca. 1-1,2 m/s, altså noe lavere enn i dag.

#### 3.3 Temperaturdata

Vertikale temperaturprofiler er målt av oppdragsgiver på tre stasjoner i Fjærekilen, ca. en gang pr. uke, fra 29/8-73 til 20/11-73.

Stasjonene er nummerert 1, 2 og 3, plasseringen er vist på figur 2. Stasjon 1 ligger ca. 200 meter utenfor eksisterende inntak, og stasjon 2 og 3 henholdsvis 1,4 og 3 km fra stasjon 1 utover mot hovedbassenget.

Måleseriene er gjengitt i tabell 1, og temperaturprofiler for alle serier frem til 13/11 er vist i figur 3. Den siste målingen, 20/11, viser fullstendig homogene vannmasser, alle registreringer ligger mellom 5,5 og 5,7 °C, dvs. innenfor en antatt usikkerhet på  $\pm 0,1$  °C.

Måleseriene 2/10 og 30/10 antyder målefeil i stasjon 3. Store varme vannmasser ligger her under kaldere og tyngre vann iflg. målingene, en sterkt ustabil situasjon som neppe vil forekomme i praksis. Serien 30/10 viser også sterke svingninger i stasjon 2, sannsynligvis p.g.a. ustabilitet i måleapparatet. Disse måle-serier er derfor bare delvis anvendelige.

Temperaturene i det nåværende inntaket står under løpende kontroll. Målinger ved pumpestasjon i bygg 22 foreligger for hvert døgn i tidsrommet 29/8 til 20/11, både som øyeblikksmålinger kl. 7.00, og som døgnmiddel, se tabell 2. De to seriene skiller seg svært lite, og døgnmiddelserien er benyttet.

#### 4. BESKRIVELSE AV NÅVÆRENDE SITUASJON

Temperaturprofilene i figur 3 viser det vanlige høst-forløpet. Utgangspunktet er en situasjon med sterk sjiktning, et ca. 10 m tykt lag øverst har temperatur ca. 15-20 °C, og er mye lettere enn vannet dypere ned, som holder ca. 4-5 °C. Den store tetthetsforskjellen mellom de to lagene hemmer vannutveksling i vertikal retning, og sjiktningen opprettholdes.

Utover høsten avkjøles overflatevannet ved varmeavgang til atmosfæren. Dette fører til en situasjon med fullsirkulasjon over sprangsjiktet. Det danner seg et homogent lag over sprangsjiktet, som stadig øker i tykkelse samtidig som temperaturen avtar. Til slutt jevnes temperaturene helt ut, og hele vannvolumet er med i fullsirkulasjonen. Deretter vil hele vannvolumet avkjøles ned til en homogen temperatur på 4 °C, hvor ferskvann har sin maksimale tetthet. Videre avkjøling i overflaten gir lettere vann, og en ny stabil sjiktning oppnås.

I figur 4 er vist tidsforløpet av temperaturen i stasjon 1 for 0 og 45-meters dyp. Her vises avkjølingen i 0-meters nivå om høsten, fra

ca. 13 °C i slutten av september, til 5,5 °C 20. november.

Vannet i 45-meters nivå holder stort sett konstant temperatur helt frem til midten av november, i løpet av en uke får det da samme temperatur som 0-meters nivået.

Døgnmidler av inntakstemperaturen er også plottet i figur 4. Frem til 5/11 faller den stort sett sammen med temperaturen i inntaksdypet, 45 m, og inntaket tar da vann bare under sprangsjiktet. Målingene 16/10 viser en inntakstemperatur som er lavere enn dette, det kan være målefeil i temp.profilene.

I perioden fra 5/11 til 20/11 ser vi imidlertid at inntakstemperaturen svinger mellom 45 meter- og 0 meter-kurvene. Dette tyder på at vertikale svingninger av sprangsjiktet da blir så sterke at det periodevis når ned under 45 metersnivået.

Slike vertikale svingninger vil være resultatet av en varierende vind-påvirkning. Sterk vind i en retning over en viss tid stuer opp overflatevann i den ene enden av innsjøen, og fortrenger dypvann. Sprangsjiktet vil stilles på skrå. Når vinden opphører eller dreier, strømmer vannmassene tilbake, og sprangsjiktet svinger omkring horisontalstilling.

Avvik fra sprangsjiktets midlere nivå kan derfor observeres både under stasjonære vindforhold, og ved svingninger etter at vinden har opphørt.

Sprangsjiktets svingning i tid ved inntaket kan studeres mer direkte av datamaterialet. I figur 5 er sprangsjiktets beliggenhet i stasjon 1, representert ved dypet for største temperaturgradient, funnet av figur 3, og tegnet som funksjon av tid. De inntegnede punkter viser økende dyp med tid, med sterke avvik i siste del av observasjonstiden.

På grunnlag av punktene er det rent skjønnsmessig trukket en kurve (1a) for antatt midlere forløp. Avvikene herfra antas å representere skråstilling av sprangsjiktet på grunn av vind eller vindinduserte strømmer. Absoluttverdier av avvikene er også avmerket i figur 5, og på grunnlag av dem er trukket en kurve (1b) over sannsynlig amplitude for vertikale avvik fra sprangsjiktets middeldyp i stasjon 1. (Se tabell 3).

Det virker rimelig at slike svingninger i inntaks-temperaturen som de vi kan observere i perioden 5/11-20/11 opptrer når amplituden for avvik blir større enn dybdeforskjellen mellom sprangsjiktets middelnivå og 45 meters nivået. Av figur 5 ser vi at dette inntreffer mellom 1/11 og 5/11, og figur 4 og 5 stemmer altså godt overens.

Konklusjonen blir at det er den varierende skråstilling av sprangsjiktet i Norsjø som helhet, som er avgjørende for inntakstemperaturen. Om de observerte avvik (figur 5) skyldes stasjonær vind eller vindindusert svingning (seiche), er det umulig å si uten å studere vindstatistikken nærmere, og uten å ha kontinuerlige temperaturregistreringer i inntaket. Dette spørsmålet har likevel lite å si for den videre analyse.

Helningen av sprangsjiktet over Fjærekilen på grunn av strøm mot vanninntaket er sannsynligvis uten betydning for inntakstemperaturen, sammenliknet med skråstilling over hele Norsjø.

Vi skal likevel studere den lokale helningen i Fjærekilen litt nærmere.

I tabell 4 er forskyvningen av sprangsjiktet mellom målestasjonene gjengitt, avlest av figur 3. Gjennomsnittlig ligger sprangsjiktet ca. 1,3 m dypere i stasjon 1 enn i stasjon 3. Usikkerheten er ca. 1,4 m, og forskjellen mellom de to stasjonene er derfor ikke signifikant forskjellig fra null. Det er for lite data til å si noe om hvordan helningen utvikler seg i tid.

I vedlagt Appendiks er brukt en modell for to-lags kanalstrøm for å beregne helningen av sprangsjiktet ved ulike strømsituasjoner. Modellen bygger i korthet på at et lettere lag ligger over et tyngre, hvor helning på overflate og grensesjikt setter opp horisontale trykkgradienter som motvirker friksjon, og akselererer vannet i strømrretning, med varierende tverrsnitt. Det tas hensyn til friksjon i bunn og grensesjikt, sidefriksjon antas neglisjerbar. Vindpåvirkning neglisjeres.

Modellen anvendes slik at en får en øvre grense for forskyvningen av sprangsjiktet ved stasjonær strøm.

Forskyvningen over Fjærekilen er i første omgang beregnet med stille-



stående øvre lag, og homogent strømmende nedre lag, med volumfluks tilsvarende det nåværende vanninntaket. Antakelsen om homogen innstrømming er rimelig. Figur 3 viser at forholdene nokså bra oppfyller forutsetningen om to homogene lag, skilt av et smalt sprangsjikt. En skråstilling av overflate og sprangsjikt vil gi like stor horisontal trykkgradient i hele den homogene vannmasse under sprangsjiktet, og vi må derfor vente den vanlige turbulente strømprofilen, med tilnærmet konstant strømhastighet i hele dybden.

Beregningene viser at sprangsjiktet vil forskyves under 2 cm for alle observerte situasjoner til og med 6/11, bare 13/11 blir forskyvningen ca. 10 cm (maksimalt).

Det er derfor ikke rimelig å tro at vanninntaket isolert har noen betydning. De observerte forskyvninger av sprangsjiktet mellom stasjonene i Fjærekilen har absoluttverdier på 2-7 meter, og svinger mellom positive og negative verdier, iflg. tabell 4. De må derfor skyldes andre strømmer, av høyere størrelsesorden, og varierende i tid.

Hvis vindinduserte strømmer i Norsjø er vesentlige, er det rimelig å se på forskyvningen i Fjærekilen som et resultat av horisontale strømmer forbundet med vertikale bevegelser av sprangsjiktet.

Ved å sammenlikne avviket fra midlere dyp for sprangsjiktet i stasjon 1 i tabell 3 med forskjellen mellom stasjon 1 og stasjon 3 i tabell 4, ser en at det er liten sammenheng mellom disse størrelsene. Det sees også at forskyvningen langs Fjærekilen er mye større enn det totale avvik i stasjon 1, for de fleste tidspunkter.

Dette tyder på at sprangsjiktet i Fjærekilen ikke svinger i fase med hovedbassenget, slik en kunne vente hvis friksjon neglisjeres. Det ser ut som friksjon kan gjøre seg gjeldende for de horisontale strømmer gjennom Fjærekilen, og gi sterk faseforskyvning.

Vi forutsetter derfor at de observerte skråstillingene av sprangsjiktet i Fjærekilen ikke er forbundet med vanlig potensiell svingningsenergi, men i stor grad er satt opp av friksjonsmotstand mot vindindusert strøm.

## 5. VIRKNINGEN AV ØKT TOTALINNTAK PÅ TEMPERATUREN I DET NÅVÆRENDE INNTAK

Det som har interesse etter resultatene i avsnitt 4. er å finne ut hvordan et økt totalt vanninntak fra Fjærekilen kan tenkes å påvirke den korte perioden om høsten hvor overflatevann kan trenge ned til dypet for det eksisterende inntaket. I nåværende situasjon inntreer dette ca. 5/11 i 1973, omtrent samtidig med at kurve 1a og 2a i figur 5 skjærer hverandre. Spørsmålet blir hvordan endret totalinntak kan innvirke på disse kurvene.

Et økt inntak av vann fra dypet vil si økt uttapping av innsjøens kaldtvannsreservoar i sommerperioden. Sprangsjiktet forventes derfor å ligge dypere mot slutten av sommerperioden jo større inntaket er. En økning av inntaket med  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  gir en uttapping på  $12,4 \cdot 10^7 \text{ m}^3$  over 6 mndr. Denne uttapping av vann fra dyplaget må kompenseres av en oppmagasinering av varmt overflatevann. Midlere avrenning fra Norsjø er  $298 \text{ m}^3/\text{s}$  iflg. NIVA 1967. Dette gir en teoretisk oppholdstid på under 50 døgn i vannmassene over 15 meter. Det er derfor god tilgang på oppvarmet ellevann, og vi antar at overflatetemperaturen sent på sommeren ikke vil endre seg noe på grunn av økt uttapping av kaldtvann.

I forhold til nåværende situasjon må vi vente en økning i sjøens varmeinnhold sent på sommeren.

Om høsten starter avkjølingen i overflaten. Et homogent overflatesjikt avkjøles, og øker samtidig i tykkelse. Grovt regnet kan en anta at temperaturprofilen holder seg uforandret i tid under sprangsjiktet. Dybden for sprangsjiktet blir derfor det dyp hvor temperaturen på den opprinnelige profilen tilsvarer temperaturen i det homogene toppsjiktet. Tetthetens avhengighet av temperaturen gjør at det homogene sjiktet "spiser" seg ned til dette dypet, og derfor vokser med avtakende overflatetemperatur.

Ved økt initielt varmtvannsvolum vil i begynnelsen av nedkjølingen den samme varmemengde som før fjernes ved overgang til atmosfæren, og temperaturen synker langsommere i det økte volumet. Hvis sjiktningen er like skarp som før, vil derfor også økningen av varmtvannsvolumet skje langsommere i tid.

Varmeavgangen til atmosfæren er imidlertid proporsjonal med temperaturforskjellen mellom vannet i overflaten og luften. Den langsommere

temperatursenkningen i overflaten gir en økning i varmeavgangen, inntil den er så stor at overflaten avkjøles like fort som før. Under resten av avkjølingen går temperatursenkning og volumøkning like fort som før, men med noe høyere temperatur og noe større varmtvannsvolum enn før. En grov overslagsberegning<sup>1)</sup> viser at vi i forhold til i dag kan vente en forhøyning av overflatetemperaturen med  $\delta T_o \approx 0,3$  °C, og en økning av varmtvannsvolumet på  $\delta V_o \approx 9,5 \cdot 10^7$  m<sup>3</sup>, eller en senkning av sprangsjiktet på ca. 2,5 meter, for de sene stadier av nedkjølingen.

---

<sup>1)</sup> Initiell økning av varmeinnholdet i innsjøen før avkjølingen,  $\Delta W_i$ , er:

$$\Delta W_i = \delta V_i \cdot (T_i - T_h) \cdot C_T \quad (1)$$

hvor

$\delta V_i = 12,4 \cdot 10^7$  m<sup>3</sup> er økning av initielt varmtvannsvolum  
 $T_i = 18$  °C er initiell overflatetemperatur  
 $T_h = 5$  °C er temperaturen i dyplaget  
 $C_T$  = vannets spesifikke varmeinnhold

Total varmeavgang i løpet av avkjølingsfasen blir for gitt tidspunkt:

$$Q \geq V_i (T_i - T_o) \cdot C_T \quad (2)$$

hvor

$V_i$  er initielt varmtvannsvolum  
 $T_o$  er overflatetemperaturen for gitt tidspunkt

Endringen i varmeavgang  $Q$  ved en konstant temperaturforhøyelse  $\delta T_o$  blir:

$$\delta Q = Q \cdot \frac{\delta T_o}{T_o - T_1} \quad (3)$$

når  $Q$  antas proporsjonal med  $T_o - T_1$ , og  $T_1$  = lufttemperaturen.

forts.

Endringen i varmeinnhold i innsjøen ved et gitt tidspunkt er

$$\Delta W = (\delta V (T_o - T_h) + V_o \cdot \delta T) \cdot C_T \quad (4)$$

Ved å sette opp varmembalansen:

$$\Delta W_i = \delta Q + \Delta W \quad (5)$$

sette inn (1), (2), (3) og (4) og løse  $\delta T_o$  får vi:

$$\delta T_o \leq \frac{\delta V_i (T_i - T_h) - \delta V_o (T_o - T_h)}{V_o + V_i \frac{T_i - T_o}{T_o - T_1}} \quad (6)$$

Vi antar  $\delta V_o \approx \delta V_i$ , og med

$$\begin{aligned} V_i &= 6 \cdot 10^8 \text{ m}^3 \text{ (sprangsjikt 10 meter)} \\ V_o &= 17 \cdot 10^8 \text{ m}^3 \text{ (sprangsjikt 35 meter)} \\ T_o &= 8,5 \text{ }^\circ\text{C} \quad ( \quad " \quad " \quad " \quad ) \\ T_o - T_1 &\approx \text{konstant} = 3 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (av data)} \end{aligned}$$

får vi en temperaturforhøyelse på

$$\delta T_o \approx 0,3 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Med vanlig gradient  $0,5 \text{ }^\circ\text{C/m}$  i sprangsjiktet tilsvarer det en minskning av sprangsjiktets nedtrengning med 0,7 meter. Med tverrsnittsareal  $A = 40 \cdot 10^6 \text{ m}^2$  i 35 m dyp vil det si en minskning i volumøkningen med  $2,8 \cdot 10^7 \text{ m}^3$  og vi får:

$$\begin{aligned} \delta V_o &= \delta V_i - 2,8 \cdot 10^7 \\ &= 9,6 \cdot 10^7 \text{ m}^3, \end{aligned}$$

hvilket tilsvarer en senkning av sprangsjiktet med 2,5 m fra 35 meters dyp. Forutsetningen om at  $\delta V_o \approx \delta V_i$  er nokså oppfylt.

---

Anvendes maksimalverdien  $\delta V_i = 12,4 \cdot 10^7 \text{ m}^3$  for volumøkningen, og minimalverdi  $36 \cdot 10^6 \text{ m}^2$  for horisontalarealet (dyp 45 meter), får vi en maksimalverdi for senkningen av sprangsjiktet på 3,5 meter.

Kurve la i figur 5 viser dypet for sprangsjiktets beliggenhet i den nåværende situasjon. For en situasjon med økt inntak vil en tilsvarende kurve ligge ca. 2,5 - 3,5 meter lavere, for siste del av avkjølingsfasen. Kurve lb i figur 5 er trukket 3,5 meter under kurve la, og representerer derfor maksimalt dyp for sprangsjiktet som funksjon av tid, ved totalt inntak  $16 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Kurve 2a i figur 5 gir amplituden for svingninger i tid av sprangsjiktet. Den er stort sett omvendt proporsjonal med tetthetsforskjellen mellom øvre og nedre lag, når vinden er den samme, endringer i sjiktningen vil derfor påvirke den. En eventuell økning av helningen i sprangsjiktet lokalt i Fjærekilen kan tenkes å addere seg til amplituden i ugunstige tilfelle.

Vi ser først på virkningen av helningen i Fjærekilen isolert. Som nevnt foran kan ikke vanninntaket alene forklare de helninger som er observert i Fjærekilen. Strømmen inn mot vanninntaket må betraktes som en prosentvis liten endring i et strømmønster som er satt opp av andre krefter.

I vedlagt Appendiks er dette studert nærmere. Den enkle to-lagsmodellen som er omtalt i avsnitt 4. er brukt på en situasjon hvor innstrømming under sprangsjiktet tilsvarer summen av vanninntaket og utstrømming over sprangsjiktet. For en rekke observerte sjiktningssituasjoner beregnes strømhastigheter som tilsvarer de observerte helninger. Ved å overlagre en endring i vanninntaket fra 8 til  $16 \text{ m}^3/\text{s}$  på disse strømhastighetene finnes den endring i sprangsjiktets helning som kan ventes. Modellen anvendes slik at de verdier vi finner for endringen er øvre grenser.

Modellens resultater er oppsummert i tabell 5. Frem til 6/11 er endringen mindre enn 1 meter, den 13/11 ca. 2 meter, som maksimalverdier.

De funne strømminger gir hastigheter på 1-10 cm/s i minste tverrsnitt, en rimelig størrelsesorden. Nåværende vanninntak isolert gir til sammenlikning ca. 0,1 cm/s i minste tverrsnitt.

I kurve 2b i figur 5 er verdiene i tabell 5 addert til kurve 2a, denne kurven representerer en øvre grense for amplituden som funksjon av tid.

Kurvene 1b, 2b skjærer hverandre ca. 5 dager før kurvene 1a, 2a. Siden både 1b og 2b representerer maksimal endring i ugunstig retning, vil dette si at den perioden hvor gjennombrudd av overflatevann til det gamle inntaket kan ventes, vil forlenges med maksimalt ca. 5 dager.

Med en temperaturforhøyelse på  $0,3^{\circ}\text{C}$  i overflaten om høsten, vil det si at den høyeste forekommende temperatur i det gamle vanninntaket om høsten vil øke med maksimalt  $1^{\circ}\text{C}$ , dvs. fra  $7,5^{\circ}\text{C}$  til  $8,5^{\circ}\text{C}$  for 1973.

Det kan nokså sikkert slås fast at dette er maksimale endringer.

Beregningene som er utført antyder at sprangsjiktets midlere dyp vil være ca. 1 m mindre enn kurve 1b viser. Den stipulerte temperaturforhøyelse på  $0,3^{\circ}\text{C}$  i overflaten vil tilsvare en horisontal forskyvning av kurve 2b med ca. 3 dager, slik at amplituden blir mindre enn kurve 2b viser. Tar vi hensyn til dette blir skjæringen mellom de to kurvene bare 2-3 dager tidligere enn i den nåværende situasjonen. Perioden med gjennomslag forlenges altså 2-3 dager, og høyeste forekommende temperatur vil øke ca.  $0,6^{\circ}\text{C}$ , fra  $7,5^{\circ}\text{C}$  til  $8,1^{\circ}\text{C}$  for 1973.

I figur 6 er antydningene de endringer vi kan vente i det midlere forløpet.

5 dagers glidende midler av observert inntakstemperatur er plottet, og glattet forløp tegnet, sammen med temperaturkurvene for 0 og 45 meter i stasjon 1. Glattet inntakstemperatur ligger under  $5^{\circ}\text{C}$  frem til 2/11, så øker den til ca.  $5,7^{\circ}\text{C}$  10/11. Deretter ligger den midt mellom 45 meter- og 0 meters-kurvene frem til 20/11. Dette forløpet er rimelig hvis øyeblikkstemperaturen svinger mellom 0- og 45 meters-kurvene.

Forventet forløp ved økt vanninntak til  $16\text{ m}^3/\text{s}$  totalt, er skjønnsmessig trukket. Temperaturøkningen starter litt tidligere, maksimalt 5, sannsynligvis 2 dager, og trekkes opp til midtpunktet mellom 0-meter og 45 meter-kurvene omtrent som for nåværende situasjon. Høyeste punkt på

den glattede kurven blir maksimalt  $0,3^{\circ}\text{C}$  og sannsynligvis  $0,15^{\circ}\text{C}$  høyere enn i dag.

Denne endringen for det glattede forløp vil tilsvare endringen i det statistiske bilde av temperaturen i det gamle inntaket.

## 6. KONKLUSJONER

Analysen foran gir dette resultatet:

I størstedelen av året holder det nåværende inntak en temperatur på under  $5^{\circ}\text{C}$ , og tar vann bare under sprangsjiktet. Denne perioden vil ikke påvirkes av at totalinntak økes fra  $8\text{ m}^3/\text{s}$  til  $16\text{ m}^3/\text{s}$ .

For en kortere periode under avkjølingsfasen om høsten (ca.  $\frac{1}{2}$  - 1 mnd. for 1973) kan imidlertid sprangsjiktet p.g.a. vind periodevis forskyves så mye at inntaket tar inn overflatevann av høyere temperatur. Dette skjer ifølge statistikken bare når overflatetemperaturer er sunket under  $10^{\circ}\text{C}$ . For 1973 opptrer det første inntak av overflatevann som registreres i døgnmiddelverdiene den 5/11 med overflatetemperaturer på ca.  $7,5^{\circ}\text{C}$ . Deretter opptrer svingningene stadig hyppigere etter som temperaturen i overflaten synker (figur 4).

En økning i uttappingen av dypvannet fra  $8\text{ m}^3/\text{s}$  til  $16\text{ m}^3/\text{s}$  vil bevirke at disse svingningene i temperaturen opptrer noe tidligere enn før, maksimalt 5, sannsynligvis 2-3 dager. Sammen med en stipulert heving av overflatetemperaturen om høsten på ca.  $0,3^{\circ}\text{C}$  vil dette føre til at høyeste temperaturregistrering i det nåværende inntaket vil stige, maksimalt med  $1^{\circ}\text{C}$ , sannsynligvis ca.  $0,6^{\circ}\text{C}$ . Den høyeste verdi for glidende midler over et lengre tidsrom vil øke mye mindre enn dette. Endringen av 5 dagers glidende midler er antydnet i figur 6. Bare endringen på grunn av økt inntak vil gjelde generelt. Det absolutte temperaturforløp i figur 6 gjelder bare forholdene i observasjonsåret 1973, det vil selvfølgelig ellers variere fra år til år.

En sammenlikning av den nye situasjon med den gamle vil derfor bare kunne bygge på et statistisk materiale over flere år for begge de to situasjoner.

Resultatene gjelder under forutsetning av at rent lokale effekter, hvirvler etc., ikke forstyrrer. Datamaterialet viser ingen spor av dette for nåværende situasjon. De nye driftsbetingelser vil gi lavere inntakshastigheter enn i dag, og det er derfor ingen grunn til å tro at dette skal gjøre seg gjeldende i den nye situasjon. Det må anses for et separat, konstruksjonsteknisk problem å unngå dette.

Det presiseres at de beregninger som er gjort, bare angir størrelsesorden for endringene, men det er lite sannsynlig at de skulle være større enn beregnet.

Den økning i vanninntaket fra Norsjø som er planlagt vil altså bare påvirke det nåværende inntaket over et kortere tidsrom, ved en relativt svak økning av den topp i inntakstemperaturene som en i alle fall får om høsten.

Helningen av sprangsjiktet gjennom Fjærekilen som følge av økt vanninntak, har bare sekundær virkning, anslagsvis mindre enn 30% av total påvirkning (pkt. 1, avsnitt 2).

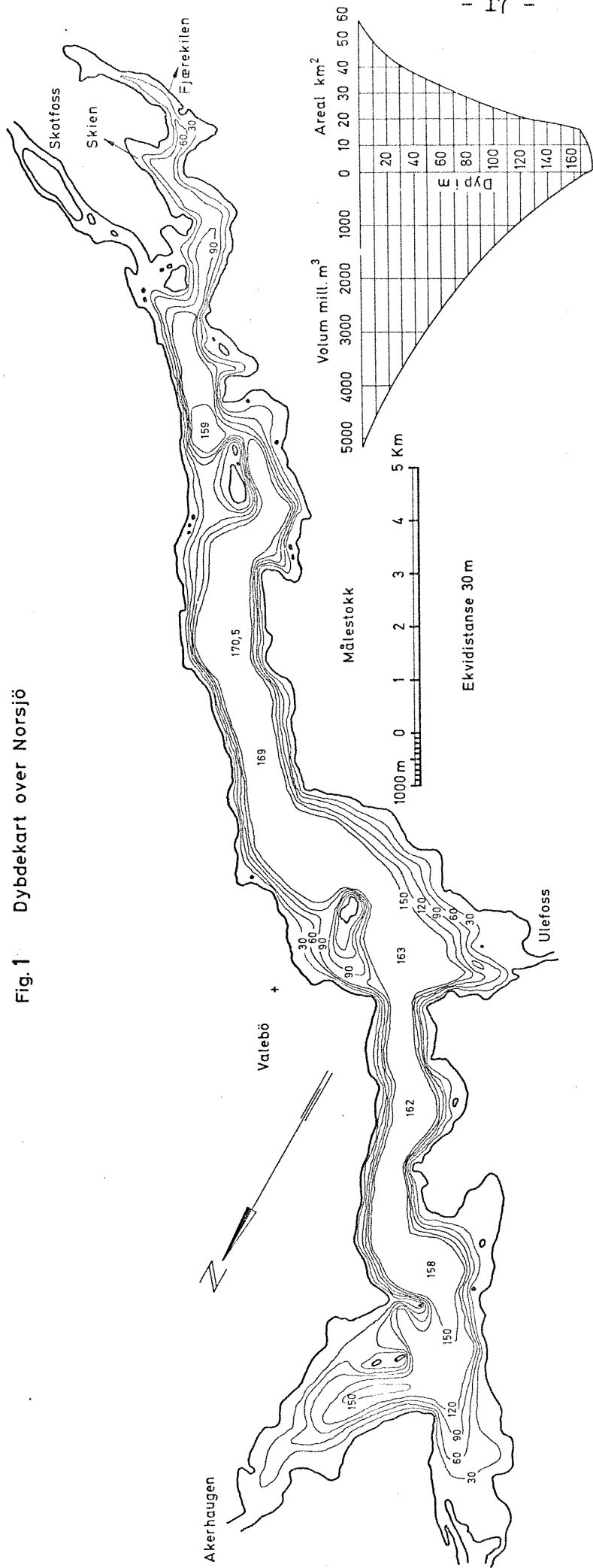
Den viktigste årsak til endringen er selve uttappingen av kaldtvannsmasser, og den derav følgende senkning av sprangsjiktet over Norsjø som helhet (pkt. 2, avsnitt 2).

Den siste effekten er uavhengig av den geografiske plasseringen av det nye inntaket. Det vil derfor ha lite å si for temperaturforholdene i nåværende inntak, hvor i Fjærekilen det nye inntaket plasseres. En forskyvning av inntakssted ut mot hovedbassenget i Norsjø i forhold til det planlagte stedet har således ingen hensikt.

Det er en fordel å plassere det nye inntaket på større dyp enn det gamle slik som planlagt. Temperaturtoppen i det nye inntaket om høsten vil derved komme senere, og være mye lavere, enn toppen i det gamle inntaket. Siden det nye inntaket skal føre dobbelt så mye vann som det gamle under de nye driftsbetingelser, er det gode muligheter til å dempe temperatursvingningene i det gamle inntaket om høsten ved å blande vann fra de to inntakene.



Fig. 1 Dybdekart over Norsjø



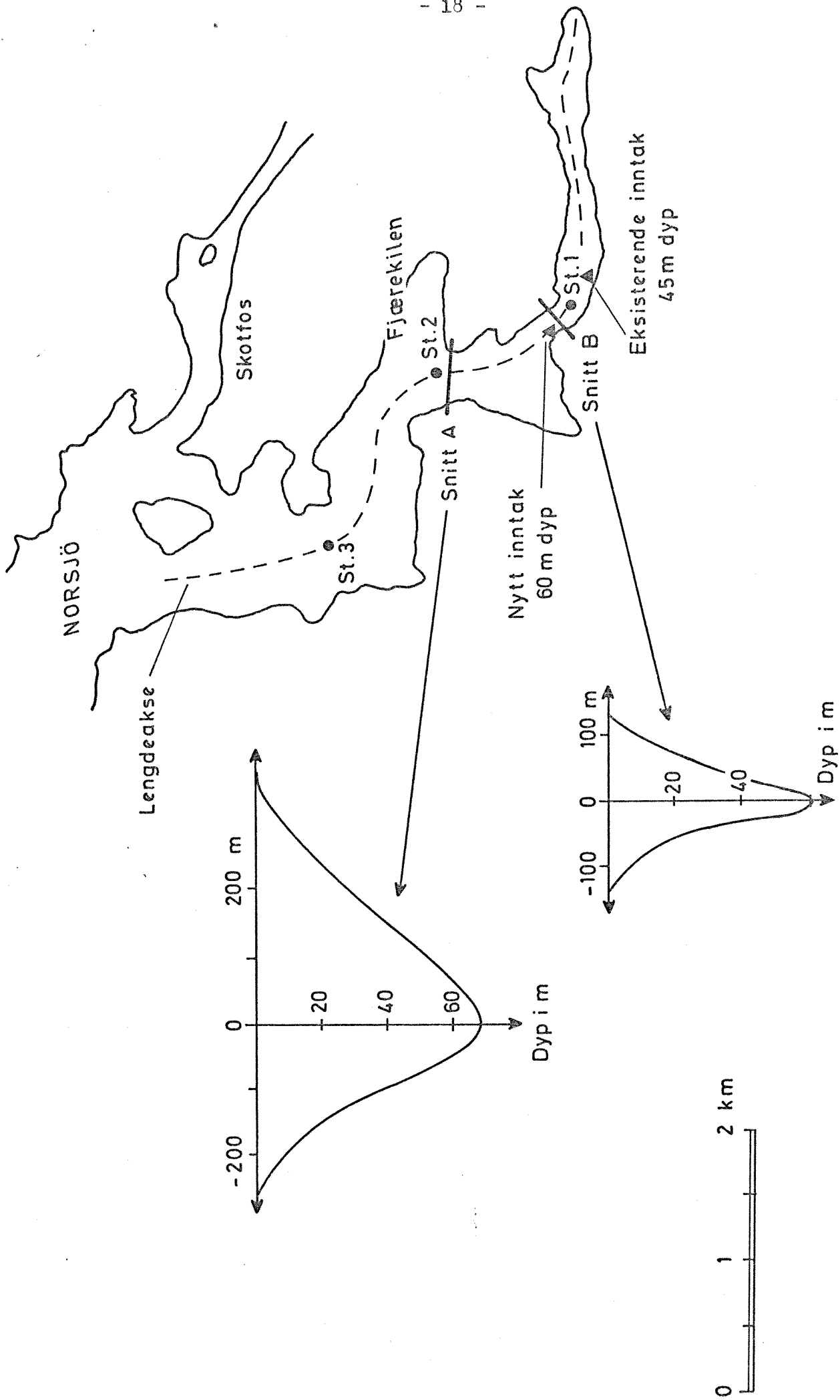


Fig. 2 Fjærekilen Plassering av målestasjoner og ferskvannsinntak. De to minste tverrsnitt inntegnet

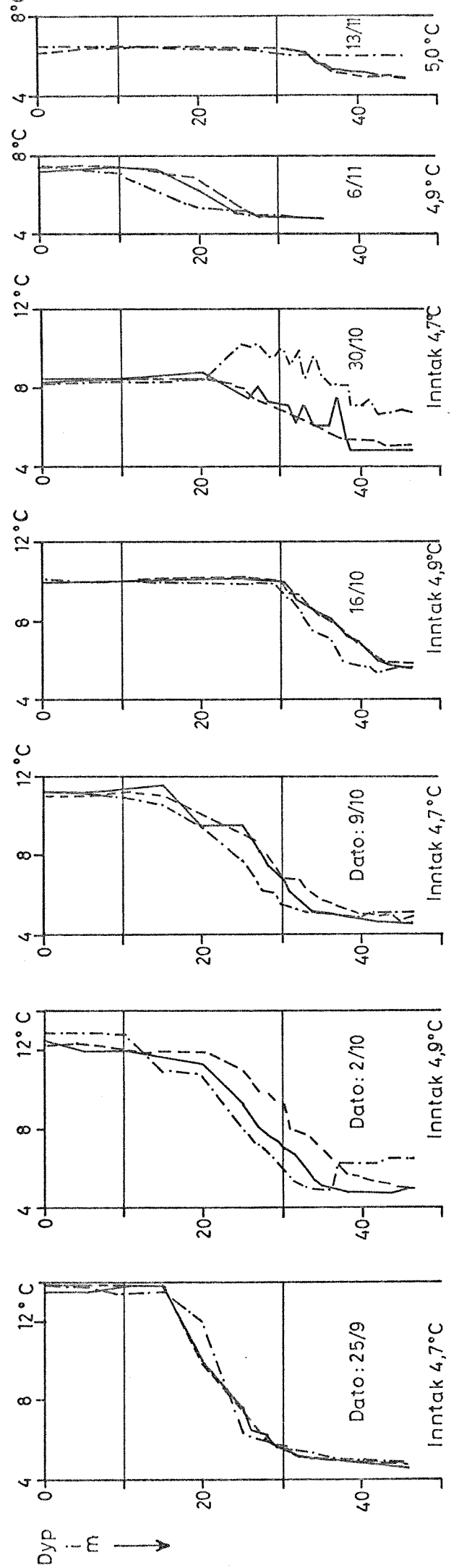
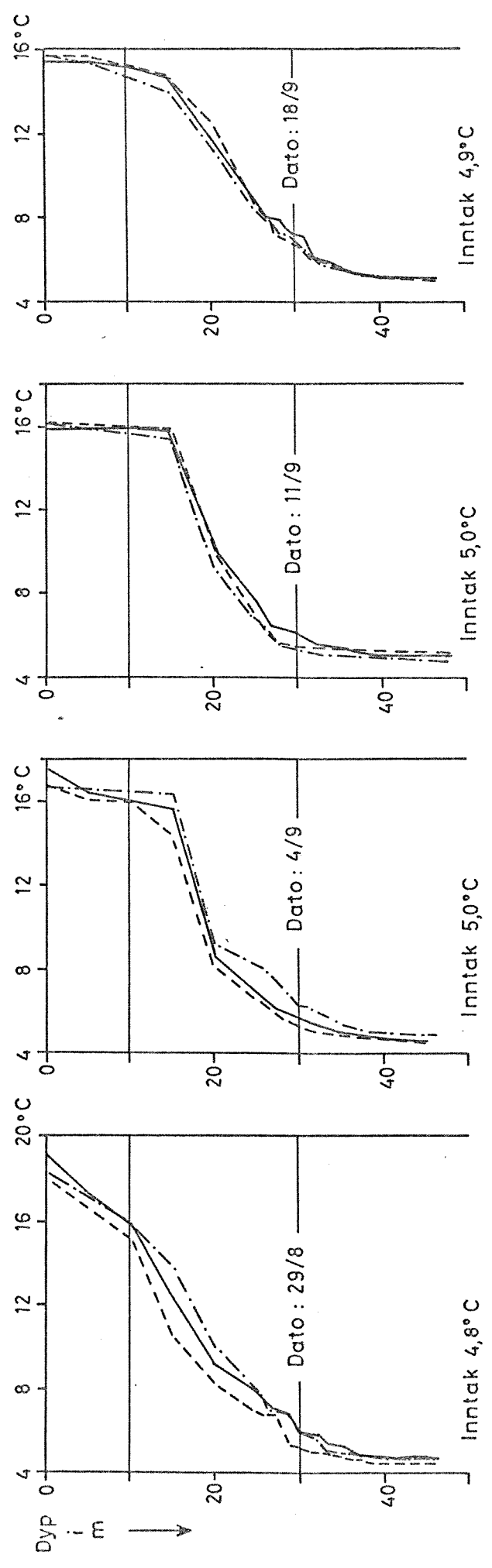
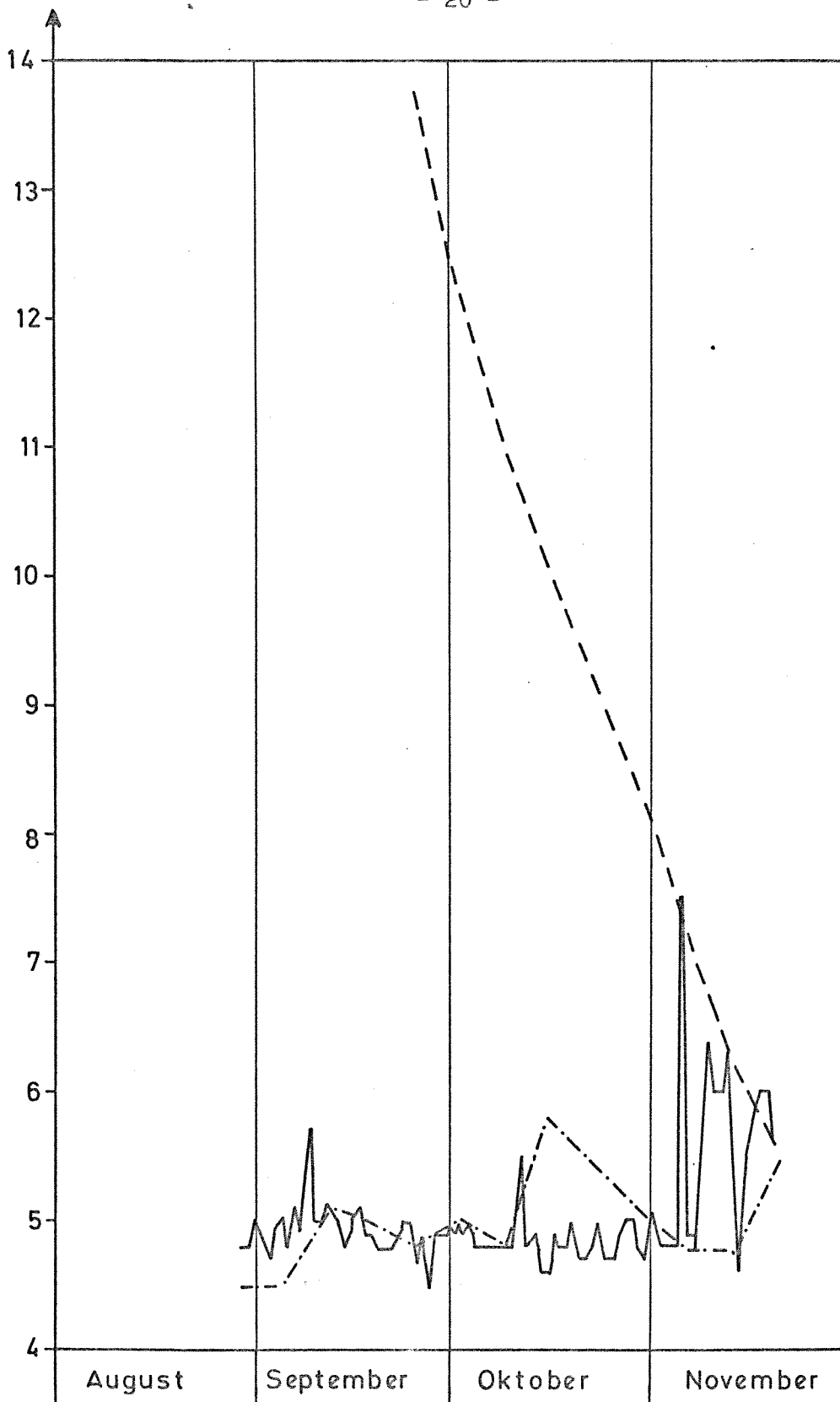


Fig. 3 Temperaturprofiler for målestasjoner i Fjærekilen, tidsrommet 29/8 - 13/11-1973 St.1--- St.2 — St.3-----  
 Temperatur i eksisterende vanninntak er angitt

T (°C)

- 20 -

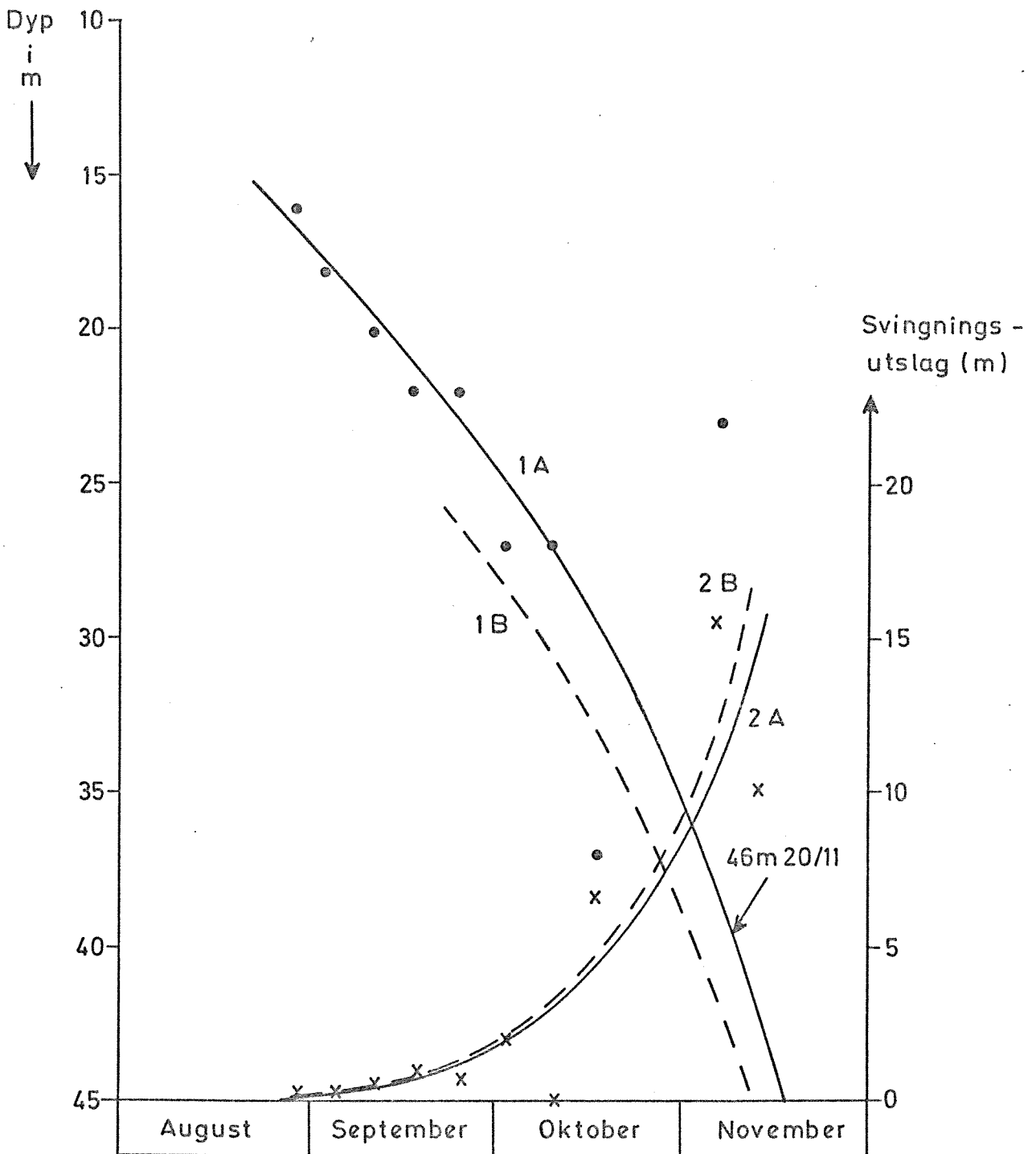


—— Inntakstemperatur ved pumpestasjon i bygg 22

----- Overflatetemperatur, stasjon 1

- · - · - Temperatur i 45 m dyp, stasjon 1

Fig.4 Inntakstemperatur, døgnmiddel Temperaturer i stasjon 1 er hentet fra tabell 1



Sprangsjiktets beliggenhet stasjon 1:

Kurve 1 A: Glattet forløp, nåværende inntak

.. 1 B: — " — , øket inntak (maksimaldyp)

• = Observasjoner

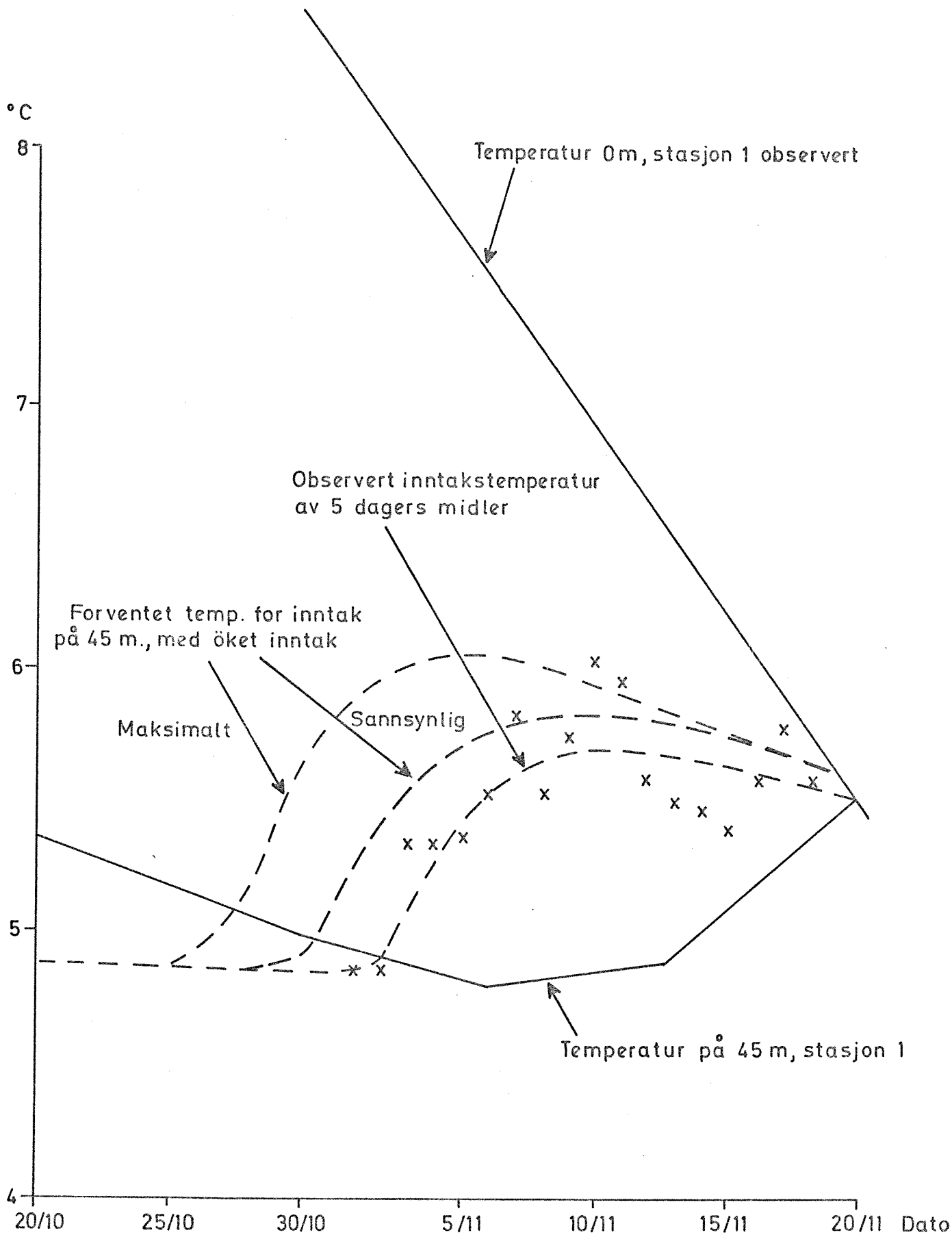
Svingning av sprangsjiktet, absoluttverdi :

Kurve 2 A: Sannsynlig utslag, nåværende inntak

.. 2 B: — " — , øket inntak (maksimalutslag)

x = Punkter anslått av observasjoner

Fig. 5 Sprangsjiktet i stasjon 1, som dyp i meter, og sannsynlig svingningsamplitude, som funksjon av tid  
Nåværende og fremtidig vanninntak



x = 5 dagers glidende middel av observert inntakstemperatur

Fig. 6 Observert temperaturforløp i stasjon 1 og i nåværende inntak, og forventet forløp etter bygging av nytt inntak  
Endringen angir bare størrelsesorden

Tabell 1 a. Temperaturmålinger i Fjærekilen. Temp. i °C ved de oppførte målepunkter.

Dybde under vann- speil  m	Dato: 29.8.73			Dato: 4.9.73			Dato: 11.9.73		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	18,0	18,5	18,1	16,8	17,5	16,8	16,3	16,0	16,3
5	16,7	17,4	17,1	16,2	16,5	16,6	16,1	16,0	16,0
10	15,2	16,0	16,0	16,0	16,2	16,5	16,0	16,0	15,9
15	10,5	12,5	13,8	14,5	15,6	16,3	15,9	15,8	15,4
20	8,8	9,2	10,0	8,1	8,5	9,2	10,0	10,5	9,2
25	7,0	8,0	8,0	6,5	6,9	8,2	7,0	7,7	6,9
26	6,8	7,5	7,2	6,2	6,5	7,9	6,3	7,2	6,5
27	6,8	7,1	7,0	6,0	6,1	7,5	5,8	6,5	5,8
28	6,0	7,6	6,8	5,7	6,0	7,1	5,5	6,3	5,6
29	5,3	6,6	6,5	5,5	5,8	6,5	5,5	6,2	5,4
30	5,2	6,0	6,0	5,2	5,6	6,3	5,4	6,0	5,3
31	5,0	5,9	5,9	5,1	5,5	6,2	5,4	5,8	5,2
32	5,0	5,8	5,5	5,0	5,4	6,0	5,4	5,6	5,1
33	5,0	5,5	5,1	5,0	5,2	5,7	5,3	5,5	5,1
34	4,9	5,4	5,1	4,9	5,1	5,5	5,2	5,5	5,0
35	4,8	5,3	5,0	4,8	5,0	5,4	5,2	5,4	5,0
36	4,7	5,1	5,0	4,7	4,9	5,3	5,2	5,3	5,0
37	4,7	5,0	4,9	4,7	4,8	5,2	5,2	5,2	5,0
38	4,6	4,9	4,9	4,7	4,8	5,0	5,2	5,2	5,0
39	4,5	4,9	4,8	4,7	4,7	5,0	5,1	5,1	5,0
40	4,5	4,8	4,8	4,7	4,7	5,0	5,1	5,0	4,9
41	4,5	4,7	4,7	4,6	4,6	5,0	5,1	5,0	4,9
42	4,5	4,7	4,7	4,6	4,6	4,9	5,1	5,0	4,9
43	4,5	4,8	4,6	4,5	4,6	4,9	5,1	5,0	4,9
44	4,5	4,8	4,6	4,5	4,6	4,9	5,1	5,0	4,8
45	4,45	4,8	4,6	4,5	4,6	4,9	5,1	5,0	4,8
46	4,5	4,7	4,5	4,4	4,6	4,9	5,1	5,0	4,8

Tabell 1 b. Temperaturmålinger i Fjærekilen. Temp. i °C ved de oppførte målepunkter

Dybde under vann- speil  m	Dato: 18.9.73			Dato: 25.9.73			Dato: 2.10.73		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	15,7	15,5	15,7	13,8	13,5	13,8	12,3	12,5	13,0
5	15,7	15,5	15,5	13,8	13,5	13,8	12,3	12,0	13,0
10	15,4	15,3	14,9	13,8	13,8	13,5	12,0	12,0	12,7
15	14,7	14,7	14,0	13,9	13,8	13,5	12,0	11,6	11,1
20	12,5	11,9	11,4	9,8	10,0	12,0	12,0	11,2	10,7
25	8,9	9,0	8,5	7,5	7,5	6,3	11,0	9,1	8,1
26	8,3	8,3	8,1	7,0	6,5	6,1	10,5	8,6	7,6
27	8,0	8,0	7,9	6,5	6,3	6,0	9,9	8,1	7,2
28	7,1	7,9	7,3	6,1	6,1	6,0	9,9	7,8	7,0
29	6,9	7,5	7,2	5,8	5,8	5,7	9,5	7,6	6,5
30	6,7	7,2	6,9	5,5	5,7	5,6	9,4	7,2	6,1
31	6,4	7,0	6,6	5,4	5,5	5,5	8,0	7,0	5,5
32	6,0	6,2	6,1	5,2	5,2	5,5	8,0	6,5	5,1
33	5,9	6,0	6,0	5,0	5,1	5,3	7,9	6,0	5,0
34	5,8	5,9	5,8	5,0	5,0	5,3	7,5	5,5	4,9
35	5,7	5,7	5,7	5,0	5,0	5,2	7,0	5,2	4,9
36	5,5	5,6	5,4	4,9	5,0	5,0	6,6	5,1	4,9
37	5,3	5,5	5,3	4,9	4,9	4,9	6,2	5,0	6,3
38	5,3	5,4	5,3	4,9	4,8	4,8	5,7	4,9	6,3
39	5,2	5,2	5,3	4,8	4,8	4,8	5,7	4,9	6,3
40	5,2	5,2	5,2	4,8	4,8	4,8	5,5	4,8	6,3
41	5,1	5,2	5,2	4,8	4,7	4,8	5,4	4,8	6,3
42	5,0	5,1	5,1	4,8	4,7	4,8	5,3	4,8	6,3
43	5,0	5,1	5,1	4,8	4,7	4,8	5,2	4,8	6,5
44	5,0	5,1	5,1	4,8	4,7	4,8	5,1	4,8	6,5
45	5,0	5,0	5,1	4,8	4,7	4,8	5,0	5,0	6,5
46	5,0	5,0	5,1	4,8	4,7	4,8	5,0	5,0	6,5



Tabell 1 c. Temperaturmålinger i Fjærekilen. Temp. i °C ved de oppførte målepunkter.

Dybde under vann- speil m	Dato: 9.10.73			Dato: 16.10.73			Dato: 30.10.73		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	11,0	11,2	11,2	10,0	10,0	10,2	8,2	8,5	8,3
5	11,0	11,2	11,2	10,1	10,0	10,1	8,3	8,5	8,3
10	11,2	11,3	11,0	10,1	10,1	10,1	8,4	8,5	8,3
15	11,0	11,5	10,6	10,2	10,1	10,0	8,5	8,7	8,5
20	10,0	9,5	9,5	10,2	10,1	10,0	8,5	8,7	8,5
25	9,2	9,5	7,8	10,2	10,1	10,0	7,9	7,6	10,3
26	8,9	9,0	7,1	10,0	10,1	10,0	7,5	7,4	10,2
27	8,3	8,2	6,5	10,1	10,1	10,0	7,4	8,0	10,2
28	8,0	7,5	6,1	10,1	10,1	10,0	7,2	7,2	9,7
29	7,5	7,2	6,0	10,1	10,1	9,9	7,0	7,1	9,6
30	7,0	6,8	5,5	10,0	10,0	9,6	6,9	7,0	10,0
31	6,8	6,2	5,3	9,4	9,6	9,3	6,6	7,0	9,2
32	6,8	5,9	5,2	9,3	9,1	8,6	6,5	6,2	9,8
33	6,2	5,5	5,1	8,9	8,8	8,0	6,3	7,0	8,5
34	5,9	5,1	5,1	8,6	8,6	7,5	6,0	6,0	9,6
35	5,6	5,0	5,0	8,3	8,3	7,3	5,9	6,0	8,6
36	5,5	5,0	4,9	8,1	8,0	7,0	5,6	6,0	8,2
37	5,3	4,9	4,9	7,8	7,8	6,5	5,5	7,5	8,2
38	5,1	4,8	4,8	7,4	7,3	5,9	5,3	5,5	8,1
39	5,0	4,8	4,8	7,1	7,0	5,8	5,3	4,8	7,1
40	5,0	4,7	4,8	6,9	6,8	5,7	5,3	4,8	7,1
41	5,0	4,7	5,0	6,5	6,4	5,7	5,3	4,8	7,3
42	4,9	4,6	5,0	6,3	6,0	5,5	5,2	4,8	6,7
43	4,9	4,6	5,0	6,0	5,8	5,5	5,0	4,8	6,7
44	4,9	4,6	5,0	5,9	5,7	5,6	5,0	4,8	6,7
45	4,7	4,6	5,0	5,9	5,6	5,6	5,0	4,8	6,8
46	4,8	4,5	5,0	5,8	5,6	5,6	5,0	4,8	6,8

Tabell 1 d. Temperaturmålinger i Fjærekilen. Temp. i °C ved de oppførte målepunkter.

Dybde under vann- speil  m	Dato: 6.11.73			Dato: 13.11.73			Dato: 20.11.73		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	7,2	7,3	7,5	6,2	6,2	6,5	5,5	5,5	5,5
5	7,5	7,5	7,4	6,4	6,4	6,5	5,5	5,5	5,5
10	7,5	7,5	7,2	6,5	6,5	6,5	5,5	5,7	5,5
15	7,2	7,3	6,3	6,5	6,5	6,4	5,5	5,7	5,5
20	6,9	6,5	5,5	6,4	6,4	6,4	5,5	5,7	5,5
25	5,5	5,2	5,1	6,4	6,4	6,4	5,5	5,7	5,5
26	5,2	5,2	5,0	6,4	6,4	6,4	5,5	5,7	5,7
27	5,2	5,0	5,0	6,4	6,4	6,3	5,5	5,7	5,7
28	5,1	5,0	5,0	6,4	6,4	6,3	5,5	5,7	5,7
29	5,0	5,0	5,0	6,4	6,4	6,2	5,5	5,7	5,7
30	5,0	5,0	5,0	6,4	6,4	6,1	5,5	5,7	5,6
31	5,0	5,0	5,0	6,4	6,4	6,0	5,5	5,7	5,6
32	4,9	5,0	4,9	6,3	6,3	6,0	5,5	5,7	5,6
33	4,9	4,9	4,8	6,3	6,3	6,0	5,5	5,7	5,6
34	4,9	4,9	4,8	6,2	6,2	6,0	5,5	5,7	5,6
35	4,9	4,9	4,8	5,7	5,7	6,0	5,5	5,7	5,7
36	4,9	4,8	4,8	5,4	5,5	6,0	5,5	5,7	5,7
37	4,8	4,8	4,8	5,2	5,3	6,0	5,5	5,7	5,7
38	4,8	4,8	4,8	5,2	5,3	6,0	5,5	5,7	5,7
39	4,8	4,8	4,8	5,1	5,2	6,0	5,5	5,7	5,6
40	4,8	4,8	4,8	5,0	5,2	6,0	5,5	5,7	5,7
41	4,8	4,8	4,8	5,0	5,2	6,0	5,5	5,7	5,7
42	4,8	4,8	4,8	5,0	5,1	6,0	5,5	5,7	5,7
43	4,8	4,8	4,8	5,0	5,0	6,0	5,5	5,7	5,5
44	4,8	4,8	4,8	5,0	5,0	6,0	5,5	5,7	5,5
45	4,8	4,8	4,8	4,9	5,0	6,0	5,5	5,7	5,8
46	4,8	4,8	4,8	4,8	4,9	6,0	5,5	5,7	5,8

Tabell 2. Temperatur i vanninntak, ved pumpestasjon i bygg 22, 29.8. - 21.11.73.

Dato	kl. 0700	Døgnmiddel	Dato	kl. 0700	Døgnmiddel
29.8.	4,8 °C	4,8 °C	10.10.	5,2 °C	5,0 °C
30.8.	4,8	4,8	11.10.	5,1	5,5
31.8.	5,0	5,0	12.10.	4,8	4,8
1.9.	4,9	4,9	13.10.	4,8	4,9
2.9.	4,7	4,7	14.10.	4,6	4,6
3.9.	4,9	4,9	15.10.	4,6	4,6
4.9.	5,0	5,0	16.10.	4,9	4,9
5.9.	4,8	4,8	17.10.	4,8	4,8
6.9.	6,4	5,1	18.10.	4,8	4,8
7.9.	5,1	4,9	19.10.	4,9	5,0
8.9.	5,7	5,7	20.10.	4,8	4,7
9.9.	5,0	5,0	21.10.	4,7	4,7
10.9.	5,0	5,0	22.10.	4,8	4,8
11.9.	5,3	5,0	23.10.	4,9	5,0
12.9.	5,0	5,0	24.10.	4,7	4,7
13.9.	5,1	5,0	25.10.	4,7	4,7
14.9.	4,8	4,8	26.10.	5,8	4,9
15.9.	5,0	5,0	27.10.	5,0	5,0
16.9.	5,3	5,1	28.10.	5,0	5,0
17.9.	4,9	4,9	29.10.	4,8	4,8
18.9.	4,9	4,9	30.10.	4,7	4,7
19.9.	4,8	4,8	31.10.	6,5	5,1
20.9.	4,8	4,8	1.11.	4,8	4,9
21.9.	4,8	4,8	2.11.	4,8	4,8
22.9.	4,9	4,9	3.11.	4,8	4,8
23.9.	5,0	5,0	4.11.	4,8	4,8
24.9.	5,0	5,0	5.11.	5,8	7,5
25.9.	4,7	4,7	6.11.	4,9	4,9
26.9.	4,9	4,9	7.11.	4,9	4,9
27.9.	4,6	4,5	8.11.	6,0	5,5
28.9.	5,0	4,9	9.11.	6,3	6,4
29.9.	4,9	4,9	10.11.	6,0	6,0
30.9.	4,9	4,9	11.11.	6,4	6,0
1.10.	5,0	5,0	12.11.	6,4	6,4
2.10.	4,9	4,9	13.11.	4,9	5,0
3.10.	5,0	5,0	14.11.	4,8	4,6
4.10.	4,8	4,8	15.11.	6,0	5,5
5.10.	4,8	4,8	16.11.	5,9	5,9
6.10.	4,8	4,8	17.11.	6,2	6,0
7.10.	4,8	4,8	18.11.	6,2	6,0
8.10.	4,8	4,8	19.11.	5,6	5,6
9.10.	4,7	4,7	20.11.	5,5	5,5
			21.11.	5,4	5,4

Tabell 3. Sprangsjiktets beliggenhet i stasjon 1,  
avlest av fig. 2.

Dato	Dyp i meter $Z_{st 1}$ (m)	Avvik fra glatt kurve (fig. 56) (m)
29.8.	16	0
4.9.	18	0,5
11.9.	20	0,5
18.9.	22	0,5
25.9.	22	- 1
2.10.	27	2
9.10.	27	0
16.10.	37	7,5
30.10.	30	- 5
6.11.	23	- 16
13.11.	35	- 9

Tabell 4. Observervert forskyvning av sprangsjikt mellom stasjonene i Fjærekilen, avlest grafisk av fig. 2.

$Z_{st 1}$  = sprangsjiktets beliggenhet (dyp), st 1  
 $Z_{st 2}$  = " " " " 2  
 $Z_{st 3}$  = " " " " 3

Dato	$Z_{st 1} - Z_{st 3}$ (m)	$Z_{st 1} - Z_{st 2}$ (m)	$Z_{st 2} - Z_{st 3}$ (m)
29.8.	- 4	- 2,5	- 1,5
4.9.	- 5	- 1	- 4
11.9.	+ 1	- 1	+ 2
18.9.	+ 2	+ 1	+ 1
25.9.	- 2	0	- 2
2.10.	+ 7	4	+ 3
9.10.	+ 3,5	1	+ 2,5
16.10.	+ 3	0	+ 3
30.10.	?	?	?
6.11.	+ 6,5	1,5	+ 5
13.11.	?	?	?
Middelverdi:	1,3	0,3	1,0
St.avvik m.verdi:	± 1,42	± 0,61	± 0,96
Middelverdi av absoluttverdi	3,8	1,3	2,7
Max.abs.verdi:	7 m	4 m	5 m

Tabell 5. Lokal økning av dyp for sprangsjiktet i stasjon  
1 p.g.a. økt inntak fra 8 m<sup>3</sup>/s til 16 m<sup>3</sup>/s. Av  
tabell A.3. Maksverdi.

Dato	$\Delta Z_{\max}$
25.9.	0,18
2.10.	0,45
9.10.	0,5
16.10.	0,8
30.10.	0,8
6.11.	1,5
13.11.	2,0

A P P E N D I K S

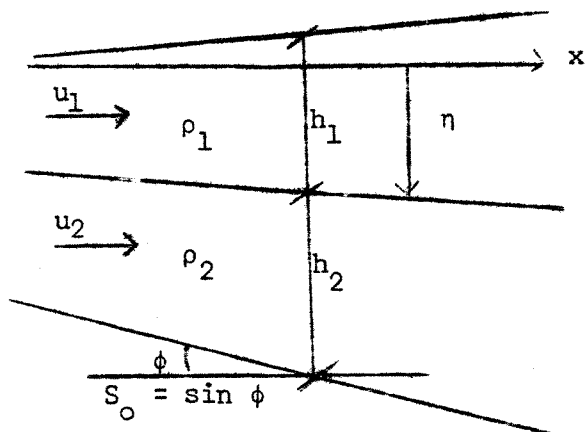
APPENDIKS. Beregning av skråstilling av sprangsjiktet i Fjærekilen

A.1. Presentasjon av modellen

=====

For å anslå den virkning et nytt vanninntak i Fjærekilen kan få på helningen av sprangsjiktet, anvendes en enkel matematisk modell for to-lagsstrøm.

Modellen er hentet fra STREETER 1961, side 26-28.



To homogene lag av tetthet  $\rho_1$  og  $\rho_2$  strømmer med hastigheter  $u_1$  og  $u_2$ , tykkelsen av lagene er  $h_1$  og  $h_2$ . Kanalen forutsettes å ha bredde  $\gg h_1, h_2$ , og tverrsnittet antas uniformt.

Bevegelseslikninger for stasjonær, ikke uniform strøm, når sidefriksjon kan neglisjeres:

$$\frac{dh_1}{dx} + \frac{dh_2}{dx} + \frac{u_1}{g} \frac{du_1}{dx} + S_{1E} - S_o = 0 \quad (1)$$

$$\left(1 - \frac{\Delta\rho}{\rho_2}\right) \frac{dh_1}{dx} + \frac{dh_2}{dx} + \frac{u_2}{g} \frac{du_2}{dx} + S_{2E} - S_o = 0 \quad (2)$$

$S_o$  er bunnens helning,  $S_{1E}$  og  $S_{2E}$  er energigradienter p.g.a. friksjon, definert som:

$$S_{1E} = \frac{\tau_i}{\gamma h_1} \quad (3)$$

$$S_{2E} = \frac{\tau_o - \tau_i}{\gamma h_2} \quad (4)$$

Her er  $\tau_o, \tau_i$  skjærspenning ved bunn og i grensesjikt, gitt som



$$\tau_i = f_i \frac{\rho}{8} |u_1 - u_2| (u_1 - u_2) \quad (5)$$

$$\tau_o = f_o \frac{\rho}{8} |u_2| u_2 \quad (6)$$

$\gamma = g\rho$  er væskens spesifikke tyngde,

$$\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \text{ er tilnærmelse for væskens tetthet, når det forutsettes at}$$

$$\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1 \ll \rho_2.$$

$f_o$  og  $f_i$  er dimensjonsløse friksjonsfaktorer for bunn og grensesjikt. Ifølge STREETER 1961, s. 26-6, kan  $f_i$  anslås til  $f_i = \alpha f_o$ , med  $\alpha = 0,43$  som en vanlig verdi. Verdien på  $f_o$  leses av et Moody-diagram som funksjon av Reynolds tall.

Reynolds tall for to-lags kanalstrøm er

$$R_e = \frac{4u_2 h_2}{\nu} \quad (7)$$

hvor  $\nu$  = kinematisk viskositet.

Den interessante størrelsen er helningen på sprangsjiktet i forhold til horisontalplanet, som kan uttrykkes ved

$$\frac{dn}{dx} = S_o - \frac{dh_2}{dx} \quad (8)$$

$\frac{dn}{dx} > 0$  betyr at sprangsjiktet heller nedover i positiv x-retning.

Av likning (1)-(6) innsatt (8) utledes:

$$\frac{dn}{dx} = \frac{\rho}{g\Delta\rho} \left[ u_2 \frac{du_2}{dx} - \left(1 - \frac{\Delta\rho}{\rho_2}\right) u_1 \frac{du_1}{dx} + \frac{f_o \alpha |u_1 - u_2| (u_1 - u_2)}{h_1} - \left(1 - \frac{\Delta\rho}{\rho}\right) \cdot \frac{f_o}{8} \left( \frac{|u_2| u_2}{h_2} - \alpha \frac{|u_1 - u_2| (u_1 - u_2)}{h_2} \right) \right] \quad (9)$$

Ved å integrere fra  $x = 0$  til  $x = L$  finner vi forskyvningen over en lengde  $L$ , som:

$$\begin{aligned} \Delta\eta &= \int_0^L \frac{d\eta}{dx} dx \\ &= \frac{\rho}{g\Delta\rho} \left\{ \left[ \frac{u_2^2}{2} - \left(1 - \frac{\Delta\rho}{\rho_2}\right) \frac{u_1^2}{2} \right]_{x=L} - \left[ \frac{u_2^2}{2} - \left(1 - \frac{\Delta\rho}{\rho_2}\right) \frac{u_1^2}{2} \right]_{x=0} \right. \\ &\quad + \frac{\alpha f_0}{8} \cdot \int_0^L \frac{|u_1 - u_2| (u_1 - u_2)}{h_1} dx \\ &\quad \left. - \left(1 - \frac{\Delta\rho}{\rho_2}\right) \frac{f_0}{8} \int_0^L \left( \frac{|u_2| u_2}{h_2} - \alpha \frac{|u_1 - u_2| (u_1 - u_2)}{h_2} \right) dx \right\} \quad (10) \end{aligned}$$

når  $\Delta\rho$ ,  $\rho$  antas konstant langs  $x$ -aksen.

En øvre grense for absoluttverdien av  $\Delta\eta$  er da gitt som:

$$\begin{aligned} |\Delta\eta| &\leq \frac{\rho}{g\Delta\rho} \left\{ \frac{u_{2 \max}^2}{2} + \frac{u_{1 \max}^2}{2} + \frac{f_0}{8} \frac{u_{2 \max}^2}{h_{2 \min}} \cdot L \right. \\ &\quad \left. + \frac{\alpha f_0}{8} \left[ \frac{1}{h_{1 \min}} + \frac{1}{h_{2 \min}} \right] (|u_{1 \max}| + |u_{2 \max}|)^2 \cdot L \right\} \quad (11) \end{aligned}$$

hvor max, min refererer seg til variasjonene langs  $x$ -aksen.

## A.2. Anvendelse av modellen

=====

Forskyvningen,  $\Delta\eta$ , over to kanaler beregnes. De er definert i tabell A.1.

Kanal I gir øvre grense for  $|\Delta\eta|$  over de ytterste 4 km av Fjærekilen, med minste snitt A på figur 2.

Kanal II gir øvre grense for  $|\Delta\eta|$  over de innerste ca. 500 m inn til stasjon 1, hvor minste tverrsnitt er snitt B på figur 2.

Sjiktningparametre, gitt av observasjonene, er vist i tabell A.2.

A.3. Effekt av vanninntak isolert  
=====

Vi ser først på den virkning et vanninntak av aktuell størrelsesorden kan få på sprangsjiktet, hvis det ikke er noen annen strøm.

Likning (11) reduseres da til

$$|\Delta\eta| \leq \frac{\rho}{g\Delta\rho} \frac{u_2^2 \max}{2} \left( 1 + \frac{f_o L}{4h_{2 \min}} + \frac{\alpha f_o}{4} \left( \frac{1}{h_{1 \min}} + \frac{1}{h_{2 \min}} \right) L \right) \quad (12)$$

Vi setter  $u_2 = Q/A_2$ ,

hvor

$Q =$  vanninntak  $m^3/s$

$A_2 =$  strømmingstverrsnitt for lag 2.

Beregninger med sjiktningsparametre fra tabell A.2., med  $A_2$  bestemt av lineærinterpolasjon ut fra tabell A.1., gir følgende verdier for forskyvning  $|\Delta\eta|$ , summert over kanal I og II:

Dato	$\Delta\eta$
25/9	0,0015 m
2/10	0,0035 "
9/10	0,0045 "
16/10	0,015 "
30/10	0,014 "
6/11	0,014 "
13/11	0,09 "

For de fleste situasjoner ligger forskyvningen på ca. 1 cm, bare for 13/11 blir  $\Delta\eta$  ca. 10 cm.

Dette ligger langt under de forskyvninger som kan avleses av datamaterialet, og som er gitt i tabell 4. Vanlige absoluttverdier for forskyvningen fra stasjon 1 til stasjon 3 ligger fra 1 til 6-7 meter. De beregnede  $\Delta\eta$  bør

være øvre grenser, og det er da klart at de observerte forskyvninger av sprangsjiktet må skyldes andre strømmer enn volumfluks til vanninntaket. Disse strømmer må være mye større enn det som skyldes vanninntaket.

#### A.4. Effekt av vanninntak sammen med annen strøm

=====

Modellen anvendes på en situasjon med motsatt rettet og like stor volumfluks i de to lagene, som følge av vertikale bevegelser av sprangsjiktet, overlappet en strøm inn mot et vanninntak under sprangsjiktet.

Strømhastigheten må oppfylle likningen

$$u_1 \cdot A_1 + u_2 \cdot A_2 = Q \quad (13)$$

hvor  $A_1, A_2$  er strømmingstverrsnitt i lag 1 og 2, og  $Q$  er volumfluks mot vanninntaket.

Modellen anvendes slik:

- a) Vi velger de verdier på  $f_0, A_1, A_2, h_1, h_2$  som gir størst  $|\Delta\eta|$  ved gitte volumflukter  $u_1 A_1 > u_2 A_2$ . Det vil si minste tverrsnitt  $A_1, A_2$  og minste dyp  $h_1, h_2$  langs x-aksen må velges. For  $f_0$  brukes maksimalt forekommende verdi 0,08 iflg. STREETER 1961, s. 3-12. Data for kanal I og kanal II, tabell A.1., anvendes.
- b) Hastighetene  $u_1, u_2$  varieres ifølge likning (13) med  $Q = 8 \text{ m}^3/\text{s}$ , dvs. det nåværende inntak, til vi finner verdier på  $|\Delta\eta|$  som svarer til de observerte ved ulike observerte sjiktninger  $\Delta\rho$ . Verdiene på  $u_1, u_2$  representerer da minimumsverdier på volumfluksene  $u_1 A_1, u_2 A_2$ .
- c) Vi antar at strømmingen i overflaten er uavhengig av endringer i vanninntaket. Med nytt inntak  $Q = 16 \text{ m}^3/\text{s}$  beregnes ny verdi for  $|\Delta\eta|$ , ved fastholdte verdier på  $A_1, A_2, h_1, h_2, \Delta\rho, u_1$ .

Siden minimumsverdier for  $A_1$  og  $A_2$  er benyttet, må den endring i verdien på  $|\Delta\eta|$  som derved fremkommer, være en øvre grense for det en kan vente i praksis.

Som aktuelle verdier på  $|\Delta\eta|$  er brukt observert forskyvning fra stasjon 1 til stasjon 3 for kanal I, fra stasjon 1 til stasjon 2 for kanal II.

Tabell 4 viser at absolutt-verdiene på forskyvningen fra st. 1 til st. 3 alltid er under 7 meter, og i middel ca. 4 meter. For st. 1 til st. 2 er tilsvarende tall 4 meter og 2 meter.

I tabell A.3 er resultatet av beregningene gitt. Den endring i  $|\Delta z|$  som blir resultatet av et økt inntak fra  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  til  $16 \text{ m}^3/\text{s}$  er beregnet som angitt i pkt. b) og c) foran for de observerte sjiktningssituasjoner. Et absolutt maksimum for endringen fås ved å summere resultatet for kanal I og kanal II.

Det sees av tabellen at endringen i spransjiktets beliggenhet i stasjon 1 som følge av økt vanninntak stort sett vil være langt under 1 meter. Bare for 6/11 og 13/11 kan en vesentlig endring ventes.

Resultatene fra tabell A.3. er summert sammen i tabell 5 foran.

Tabell A 1. Utgangsdata for beregninger med to-lagsmodell i appendix A.

Kanal I:

Lengde 3800 m

Bunnens helning: - 0,0125

Minste tverrsnitt: (snitt A, fig. 2)

Dyp: 70 m Areal: 20 350 m <sup>2</sup>	
Dyp z (m)	Areal fra overflate til dyp z:
20	10 000 m <sup>2</sup>
30	13 400 "
40	16 350 "

Kanal II:

Lengde 500 m

Bunnens helning: - 0,0125

Minste tverrsnitt: (snitt B, fig. 2)

Dyp: 60 m Areal: 6500 m <sup>2</sup>	
Dyp z (m)	Areal fra overflate til dyp z:
20	3 650 m <sup>2</sup>
30	4 700 "
40	5 500 "

Tabell A 2. Sjiktningsparametre for beregning med to-lagsmodell, appendix A.

Dato	Tykkelse av øvre lag: $h_1$ (m)	Temperaturer		Tetthet		$(\rho_1 - \rho_2) / \rho_2$
		$T_1$ (°C)	$T_2$ (°C)	$\rho_1$ (kg/l)	$\rho_2$ (kg/l)	
25.9.	22	14	5	0,9992712	0,9999919	0,00072
2.10	27	12	5	0,9995247	"	0,000467
9.10	27	11	5	0,9996328	"	0,000359
16.10.	37	10	5	0,9997277	"	0,000264
30.10.	30	8,5	5	0,9998442	"	0,000147
6.11.	23	7,5	5	0,9999046	"	0,000087
13.11.	35	6,5	5	0,9999506	"	0,000041

Tabell A 3. Beregningsresultat av to-lagsmodell i appendix A.

Endring av sprangsjiktets forskyvning over kanal I og II når overlagret vanninntak fra nedre lag økes fra  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  til  $16 \text{ m}^3/\text{s}$ , med hovedstrøm svarende til gitt total forskyvning i nåværende situasjon.

Dato	Kanal I		Kanal II	
	Total forskyvning:		Total forskyvning:	
	$\Delta Z_{\text{max}} = 7 \text{ m}$ (m)	$\Delta Z_{\text{mid}} = 4 \text{ m}$ (m)	$\Delta Z_{\text{max}} = 4 \text{ m}$ (m)	$\Delta Z_{\text{mid}} = 2 \text{ m}$ (m)
25.9.	0,09	0,06	0,13	0,1
2.10.	0,14	0,10	0,2	0,15
9.10.	0,15	0,12	0,25	0,2
16.10.	0,3	0,2	0,5	0,3
30.10.	0,25	0,2	0,5	0,3
6.11.	0,35	0,2	0,5	0,3
13.11.	0,7	0,5	1,3	0,8



LITTERATURLISTE

- NIVA 1967: VANNFORSYNING OG AVLØPSFORHOLD I  
ØSTLANDSFYLKENE  
Utredning for Østlandskomiteén 1967. Rapport 1.  
Beskrivelse og undersøkelse av vannforekomster.  
Del 3.  
Red. H. Holtan.
- STREETER 1961: Handbook of Fluid Dynamics, Mc. Graw Hill, 1961.