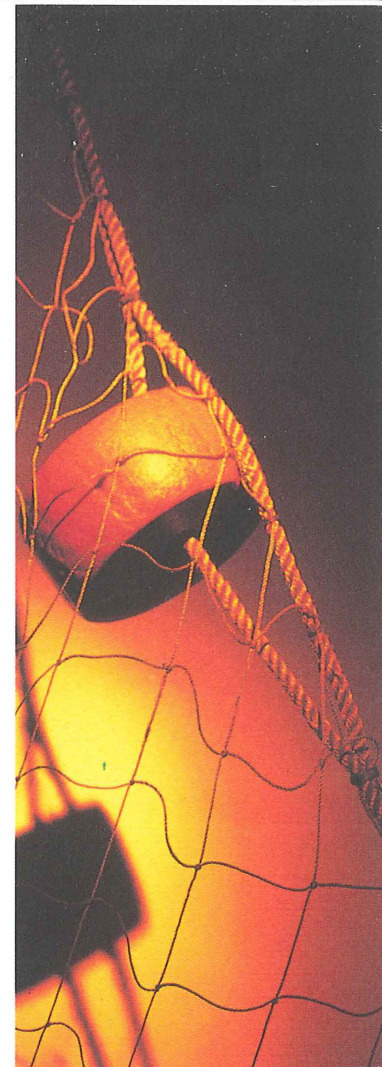


Jan Aure

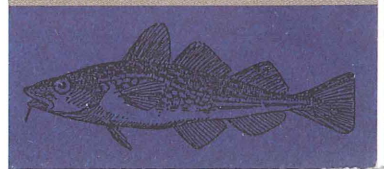
VIDERE UTBYGGING AV FLØRLI OG LYSEBOTN KRAFTVERK

KONSEKVENSER FOR MILJØFORHOLDENE OG FISKEINTERESSENE I LYSEFJORDEN

Av Jan Aure
HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
AUGUST 1997



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
INSTITUTE OF MARINE RESEARCH



Innledning

I brev av 12.2.97 ønskes en faglig utredning av konsekvensene i Lysefjorden ved videre utbygging av Flørli og Lysebotn kraftverk (Lyse Kraft- Sandnes). Etter telefonisk kontakt i mai 1997 ble det avtalt at Havforskningsinstituttet skulle påta seg denne oppgaven for Berdal Strømme a.s.

Lysebotn kraftverk ble bygget ut i 1953 og har maksimal og midlere vannføring på henholdsvis 41 og 25 m³/s. Ved ny utbygging vil midlere vannføring være den samme, mens maksimal vannføring vil øke til 145 m³/s. Flørli kraftverk, som startet i 1935, er under utbygging fra maksimal vannføring på 5 m³/s til 12 m³/s med planlagt økning til 25 m³/s. Midler vannføring på ca 5 m³/s vil være den samme før og etter utbygging. For begge kraftverkene vil fordelingen av ferskvannsavrenningen gjennom året endres (se under).

Endringer i tilførslene av ferskvann fra kraftverkene i Lysefjorden vil i første rekke påvirke brakkvannslaget, dvs saltholdighet, tykkelse av brakkvannslaget og oppholdstiden for brakkvannet i fjorden. Særlig endringer i saltholdigheten og tykkelse av brakkvannslaget vil kunne ha konsekvenser for fiskeinteressene i Lysefjorden (fiskeoppdrett og brislingfiske). Utredningen er basert seg på hydrografiske data fra Lysefjorden og modellberegninger..

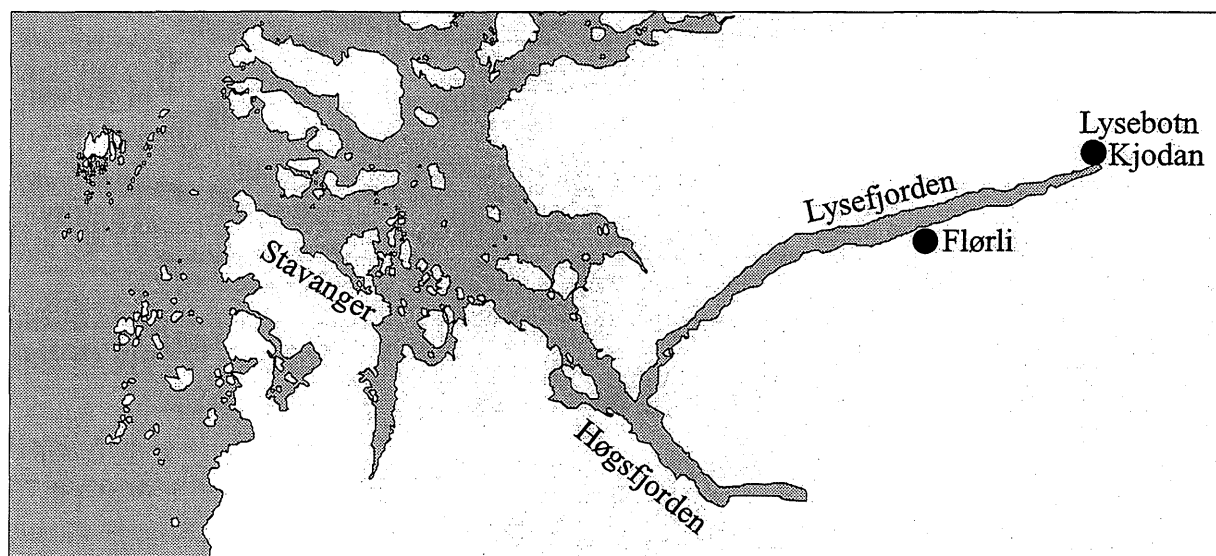


Fig. 1 Kart med lokalisering av Lysebotn, Kjodan og Flørli kraftverk i Lysefjorden.

Ferskvannstilførslene fra kraftverkene og restfeltet til Lysefjorden er beregnet av Lyse Kraft, Sandnes

Topografi

Lysefjorden er en ca 42 km lang sidefjord til Høgsfjorden med et terskeldyp på ca 15 meter og relativt smalt utløp ut mot Høgsfjorden (munningsareal på ca 6000 m²) (Fig.1). Overflatearealet er ca 47 km² og største dyp i fjorden er omlag 450 meter. To av kraftverkene i Lysefjorden, Lysebotn og Kjodan kraftverk, er lokalisert inderst i fjorden, mens Flørli kraftverk er lokalisert ca 18 km ut fjorden fra Lysebotn.

Ferskvannstilførsel

Lysebotn kraftverk og restfeltet er de dominerende ferskvannskildene til Lysefjorden med henholdsvis ca 27 og 20 m³/s i årsmiddel. Flørli og Kjodan kraftverk bidrar hver med ca 5 m³/s hver (Tabell 1). Den "naturlige" ferskvannstilførselen, restfeltet, har en klar sesonmessig variasjon med vårflom i mai -juni (maximum ca 75 m³/s) og et lokalt høstmaksimum i september på ca 35 m³/s (Fig 2a). Ferskvannstilførselen fra Lysebotn kraftverk har en markert mindre årsvariasjon med høyeste ferskvannsavrenning om vinteren (maksimum ca 40 m³/s) og et minimum i august på ca 15 m³/s. Ferskvannstilførslene fra Flørli og Kjodan kraftverk variere mellom 0 og 10 m³/s gjennom året.

Tabell 1 Dagens midlere ferskvannstilførsler (årsmiddel) fra restfeltet, Lysebotn kraftverk, Flørli kraftverk, Kjodan kraftverk og totalt til Lysefjorden.

Restfelt (m ³ /s)	Lysebotn (m ³ /s)	Flørli (m ³ /s)	Kjodan (m ³ /s)	Totalt (m ³ /s)
20.2	27.2	5	5	57.4

Etter eventuell ny utbygging av Lysebotn er det beregnet en økning i ferskvannsutslippet på 5-10 m³/s i april måned og 10-20 m³/s økning fra oktober og ut året. Fra mai til august er ferskvannstilførslene fra Lysebotn kraftverk beregnet å ligge 10- 20 m³/s lavere enn dagens avrenning (Fig 2b). Den maksimale vannføring fra Lysebotn vil øke fra 41 til 145 m³/s. Slike høye vannføringer vil normalt inntreffe innenfor typisk ett døgn og bare i svært sjeldne tilfeller ha en varighet over en hel uke. I år med mye nedbør og evt stor snøsmeltning kombinert med overløp i

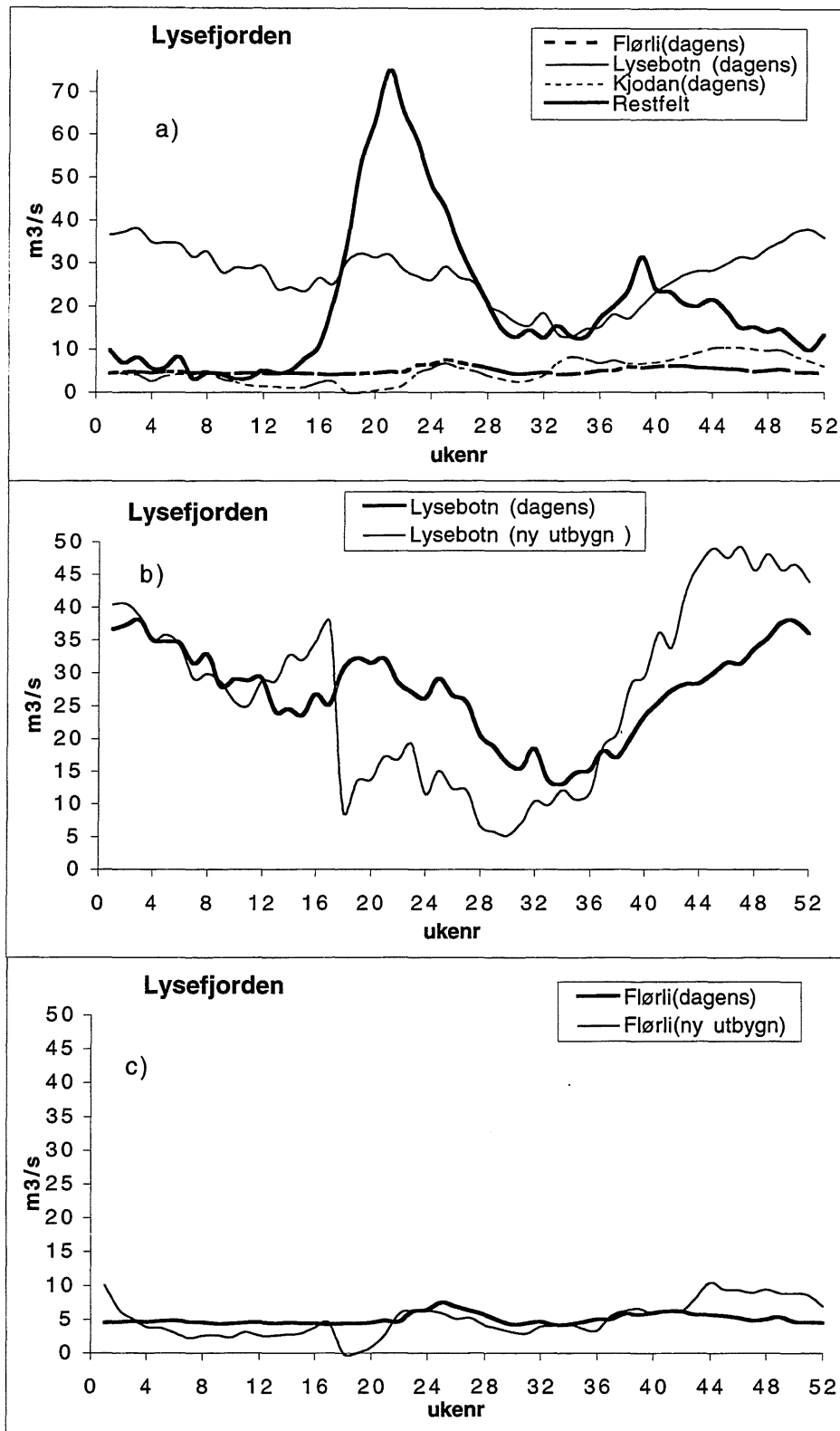


Fig.2 (a) Dagens midlere ferskvannstilførsel (7 dagersmiddel) til Lysefjorden fra Flørli, Lysebotn og Kjodan kraftstasjoner samt restfeltet. (b) Midlere ferskvannstilførsel (7 dagers middel) fra Lysebotn kraftverk før og etter ny utbygging. (c) Midlere ferskvannstilførsel (7 dagersmiddel) fra Flørli kraftverk før og etter utbygging .

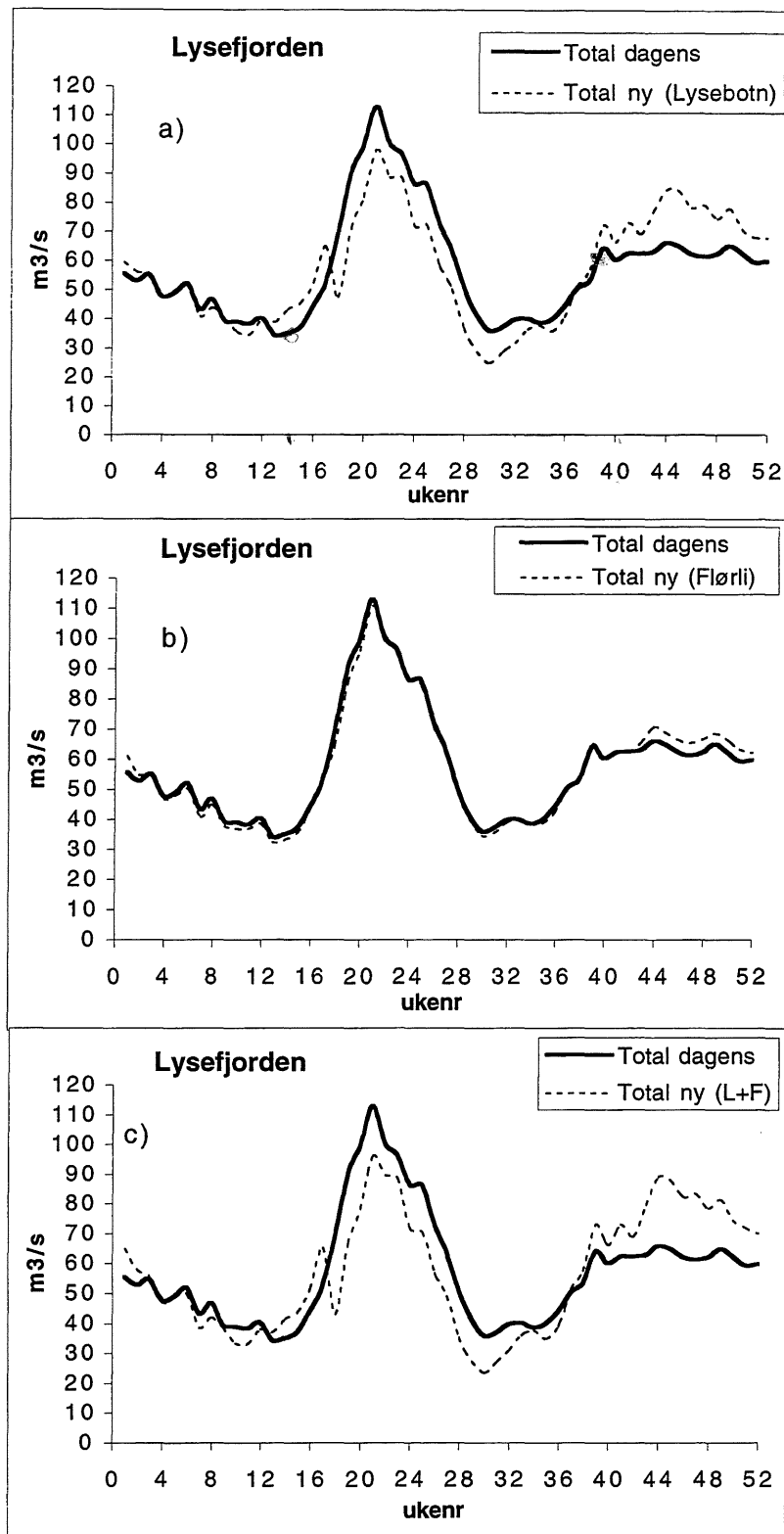


Fig 3 Total ferskvannstilførsel til Lysefjorden før og etter ny utbygging av a) Lysebotn kraftverk, b) Flørli kraftverk og c) Lysebotn og Flørli kraftverk

demningene til Lysebotn kraftverk kan Lysefjorden i dagens situasjon periodevis tilføres betydelig større ferskvannsmengder enn i et normalår. Flørli kraftverk tilfører Lysefjorden betydelig mindre ferskvann enn Lysebotn kraftverk (5-8 m³/sek). Etter utbygging vil ferskvannsutslippet fra Flørli øke med ca 5 m³/sek fra oktober-november til januar, mens utslippet resten av året vil ligge nært eller litt under nåværende utslipp (Fig.2 c). Maksimalvannføringen ved Flørli vil øke fra ca 5 til 25 m³/sek, men som ved Lysebotn kraftverk vil den økte maksimalvannføring inntreffe innenfor typisk ett døgn og bare i svært sjeldne tilfeller ha en varighet over en hel uke.

For både Lysebotn og Flørli kraftverk vil den totale tilførte ferskvannsmengde gjennom året til Lysefjorden være den samme før og etter ny utbygging.

Dagens totale tilførsel av ferskvann (kraftverkene og restfeltet) til Lysefjorden varierer ved dagens utbygging normalt mellom 35 og 110 m³/s, med størst avrenning i perioden fra mai til juli og med et lokalt maksimum på ca 60 m³/s fra september til januar (Fig.3). Ved evt ny utbygging ved Lysebotn kraftverk vil den totale ferskvannstilførsel i et normalår avta i perioden fra mai til juli og øke med 10-20 m³/s fra oktober og ut året. Ellers i et normalår vil det være små endringer i den totale ferskvannstilførsel til Lysefjorden (Fig3 a). En isolert utbygging av Flørli kraftverk vil bare gi en beskjeden økning i den totale ferskvannsavrenning om høsten (Fig 3 b). Dette medfører at økningen i den totale tilførsel av ferskvann til Lysefjorden ved evt utbygging av begge kraftverk vil bli omlag som beskrevet for Lysebotn kraftverk (Fig 3 c).

Resultater og diskusjon

Når ferskvann tilføres en fjords overflatelag dannes det et brakkvannslag med saltholdighet S_1 . Innblanding av underliggende saltere vann med saltholdighet S_2 , skjer dels i elvemunningen eller i utslippsområdet for kraftverket og dels ute i fjorden gjennom vindblanding. Vindblandingen "pumper" tyngre vann inn i brakkvannslaget og pga ferskvannstilførselen står vannnivået litt høyere inne i fjorden enn utenfor og trykkforskjellen gjør at brakkvannet strømmer ut fjorden. Under brakkvannet er trykket litt lavere inne i fjorden enn utenfor og det strømmer vann inn fjorden under brakkvannsalget i den såkalte kompensasjonsstrømmen (sk Estuarin sirkulasjon).

Ved stasjonære forhold, dvs varigheten av en gitt ferskvannstilførsel er tilnærmet lik eller større enn ferskvannets oppholdstid i fjorden, kan midlere saltholdighet i brakkvannsalaget (S_1), oppholdstid (T_f) for ferskvannet, brakkvannslagets tykkelse (H_1) og ferskvannstykkelsen (H_f) i fjorden beregnes som følger (Stigebrandt 1981):

$$S_1 = S_2 C_1 W^3 A_f / (C_1 W^3 A_f + C_2 [Q_f^5 (C_3 S_2 / B_m)^2]^{1/3}) \quad (1)$$

$$H_1 = C_1 W^3 A / 2 Q_f C_3 S_2 + C_2 (Q_f^2 / C_3 S_2 B_m^2)^{1/3} \quad (2)$$

$$H_f = C_2 (Q_f^2 / C_3 S_2 B_m^2)^{1/3} \quad W=0 \quad (3)$$

$$T_f = C_2 A_f (1 / C_3 S_2 B_m^2)^{1/3} Q_f^{-1/3} \quad (4)$$

der C_1 - C_3 er ulike konstanter, A_f = fjordens overflateareal, S_2 = saltholdighet under brakkvannslaget, W = midlere vindhastighet, Q_f = ferskvannstilførsel og B_m = munningsbredde. Ligningene over viser at saltholdigheten (S_1), med en gitt fjordtopografi og S_2 , øker med økende blandingsvind (W) og avtar med økende ferskvannstilførsel (Q_f), mens oppholdstiden (T_f) for ferskvannet (brakkvannet) i fjorden kun er en funksjon av ferskvannstilførselen (Q_f) og avtar med økende ferskvannstilførsel til fjorden. Tykkelsen av brakkvannsalaget (H_1) øker med økende blandingsvind, mens tykkelsen av ferskvannslaget (H_f) øker med økende ferskvannstilførsel og den totale ferskvannsmengden i fjorden (VOL_f) er gitt som følger:

$$VOL_f = H_f A_f \quad (4)$$

Med en midlere total ferskvannstilførsel til Lysefjorden på $57 \text{ m}^3/\text{sek}$ og en antatt midlere blandingsvind på 4 m/s , vil Lysefjorden ha et typisk brakkvannsdyp (H_1) på ca 3 meter, et ferskvannsdyp (H_f) på ca 1.2 meter, et ferskvannsvolum (VOL_f) på ca 60 mill m^3 , midlere saltholdighet i brakkvannslaget (S_1) på ca 22.0 og en typisk oppholdstid for brakkvannet (ferskvannet) (T_f) på ca 8 døgn (tabell 2).

I perioder med høyere ferskvannsavrenning kombinert med lite vind vil saltholdigheten i brakkvannslaget (S_1) være betydelig lavere enn gitt i tabell 2.

Tabell 2 Beregnet typisk ferskvannsdyp (H_f), brakkvannsdyp (H_1), midlere saltholdighet i brakkvannslaget (S_1), oppholdstid for ferskvann og brakkvann (T_f) og totalt ferskvannsvolum i Lysefjorden for midlere ferskvannstilførsel (Q_f) = 57 m³/s og midlere blandingsvind $W = 4$ m/s.

Q_f (m ³ /s)	H_f (m)	H_1 (m), ($W = 4$ m/s)	S_1 , ($W = 4$ m/s)	T_f (døgn)	VOL_f (mill m ³)
57	1.25	3.0	22.0	8.0	60

I månedskiftet november-desember har Havforskningsinstituttet (Aure, Føyn og Pettersen, 1993) observert bla saltholdigheten i brakkvannet (0m) i Lysefjorden for perioden 1975-1991 (tabell 3) Saltholdigheten i brakkvannslaget på denne årstiden varierte mellom ca 11 og 30 mens midlere saltholdighet for perioden var ca 25. Den litt høyere midlere saltholdighet enn beregnet i tabell 2 skyldes trolig hovedsakelig større vindblanding på senhøsten i Lysefjorden.

Tabell 3 Overflatesaltholdighet i Lysefjorden i november/desember 1975-1991 og middel for perioden (M).

År	75	76	77	78	79	80	81	82
S (0 m)	24	29,8	21,5	11,2	30,5	25,1	28,2	24,9
År	84	85	87	88	89	90	91	M
S (0 m)	21,9	28,1	27,1	29,5	29,2	25,1	25,2	25,4

Flørli

Som beskrevet foran vil endringene i den totale ferskvannstilførsel (ukemiddel) gjennom året til Lysefjorden som følge av ny utbygging ved Flørli være ubetydelig. Beregningene vist i Fig.4 a viser også at endringene i brakkvannets saltholdigheten i Lysefjorden er ubetydelige. Økning av maksimal vannføring med ca 20 m³/s over typisk ett døgn vil tilføre fjorden ca 1.7 mill m³ ekstra ferskvann som vil utgjøre ca 3% av den totale ferskvannsinholdet på ca 60 mill m³ i fjorden (tabell 2). De økte maksimale utslipp innenfor typisk ett døgn vil defor trolig medføre et tynt "brakkvannsflek" med utstrekning i størrelsesorden ca 1 km med lavere saltholdighet enn i

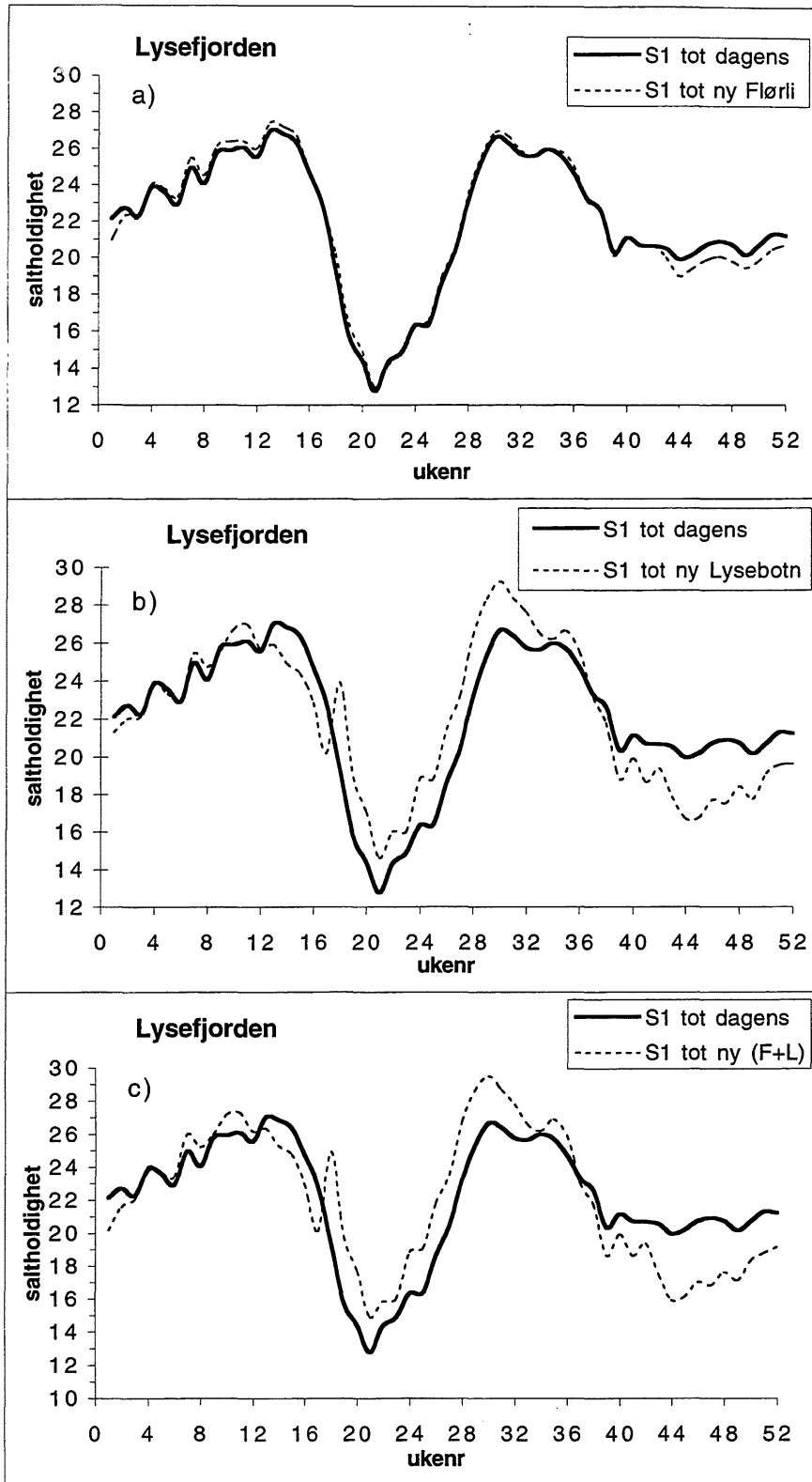


Fig 4 Beregnet midlere saltholdighet i brakkvannet i Lysefjorden basert på dagen totale ferskvannsavrenning a) totale inkl ny utbygging Flørli b) Totale inkl ny utbygging Lysebotn og c) totale inkl ny utbygging både Flørli og Lysebotn.

hovedbrakkvannslaget i fjorden. Det forventes ingen konsekvenser for fiskeinteressene (havbruk, brislingfiske) ved utbygging av Flørli kraftverk

Lysebotn

I dagens situasjon er saltholdigheten i brakkvannslaget lavest om våren primært forårsaket av vårflom i restfeltet (Fig. 3 og 4). Det er også relativt lave saltholdigheter om høsten fra oktober til årsskiftet. Etter ny utbygging vil midlere saltholdighet i brakkvannet øke i perioden fra mai til september og ligge nær dagens situasjon fra januar til mars (Fig. 4b). Nedgang i saltholdighet på opptil 3 saltholdighetsenheter, vil i første rekke inntreffe om høsten fra oktober til årsskiftet og i en kortere periode i mars/april. Saltholdighetene i de sistnevnte perioder vil fortsatt ligge tildels betydelig over saltholdighetene under vårflommen. Fig.4 c viser også at dette vil være tilfelle om en inkluderer den nye utbygging av Flørli kraftverk.

Økning av maksimal vannføring med ca $100 \text{ m}^3/\text{s}$ over typisk ett døgn etter utbygging vil tilføre fjorden ca 8.6 mill m^3 ekstra ferskvann som vil utgjøre ca 14 % av den totale ferskvannsinholdet på ca 60 mill m^3 i fjorden (tabell 2). Økte maksimalutslipp innenfor typisk ett døgn vil derfor trolig medføre et relativt tynt "brakkvannsflak" med utstrekning 5-10 km fra Lysebotn med lavere saltholdighet enn i hovedbrakkvannslaget i fjorden.

Som nevnt foran vil det i svært sjeldne tilfeller være aktuelt å kjøre maksimale vannføringer over en hel uke. Dette tidsrommet tilsvarer omlag oppholdstiden for ferskvannet i fjorden (tabell 2) og i slike tilfeller vil hele fjorden respondere på utslippet. Hvis vi antar at utslippet inntreffer utenom vårflomperioden vil den totale ferskvannsavrenning til fjorden komme opp i størrelsesorden $150 \text{ m}^3/\text{s}$ som kan medføre betydelig lavere saltholdigheter i brakkvannslaget og saltholdigheter lavere enn normalt i vårflomperioden. Minimumssaltholdighetene under slike kjøring vil kunne komme ned mot ca 5.0 men vil normalt trolig ligge mellom 5 og 10.

Under ekstrem flom i år med mye nedbør og evt stor snøsmeltning, dvs flom i restfeltet, kombinert med overløp i demningene til Lysebotn kraftverk kan Lysefjorden også i dagens situasjon (se foran), særlig i vår og høstperioden, tilføres ferskvannsmengder i størrelsesorden

150 m³/s. En eventuell kombinasjon av en flomsituasjon og maksimale vannføringer fra Lyse kraftverk over en hel uke vil gi ekstremt lave saltholdigheter i Lysefjorden.

Etter ny utbygging under normale kjøreforhold, dvs med ukemidlene gitt i Fig.3, vil det være små konsekvenser for fiskerinteressene i Lysefjorden. Maksimal vannføringer innenfor ca ett døgn og da særlig kombinert med inngående vind i Lysefjorden, kan ha uheldige konsekvenser for utøvelsen av brislingfiske i den inderste del av Lysefjorden. Maksimalvannføringer over ca 1 uke vil imidlertid kunne medføre meget lave saltholdigheter i hele Lysefjorden og særlig når disse inntreffer sammen med naturlig flom i restfeltet kombinert med overløp i demningene ved Lyse kraftverk vil saltholdigheten i brakkvannslaget kunne bli ekstremt lave. Hvis disse situasjonene inntreffer under perioder med utøvelse av brislingfiske i fjorden kan det medføre fiskedød i notstengene. Erfaringer fra andre fjorder viser at oppdrettsfisken i matfiskanlegg i perioder med ekstra lave saltholdigheter i brakkvannet unngår brakkvannslaget. Typisk brakkvannstykkelse i Lysefjorden er ca 3 meter (tabell 2) og da merdene i dag vanligvis er 10-15 meter dype skulle ikke perioder med ekstremt lave saltholdigheter skape store problem for oppdrettsvirksomheten.

Som nevnt foran vil det også i dagens situasjon i enkelte år kunne inntreffe slike ekstremsituasjoner under flomsituasjon i restfeltet kombinert med overløp i demningene til Lyse kraftverk.

Litteratur

Stigebrandt, A. 1981. A mechanism governing the estuarine circulation in deep, strongly stratified fjords. *Estuarine, Coastal Shelf Sci.*, 13, 197-211.

Aure, J., Føyn, L. og Pettersen, R. 1993. Miljøundersøkelser i norske fjorder 1975-1993. 1. Rogaland: Lysefjorden, Høgsfjorden, Hillefjorden og Boknfjorden. *Fisken og Havet*, Nr. 12-1993. 35 s

**HAVFORSKNINGSINSTITUTTET***INSTITUTE OF MARINE RESEARCH*

Nordnesgaten 50 - P. O. Box 1870 Nordnes

N-5024 Bergen - Norway

Tel: +47 55 23 85 00 - Fax: +47 55 23 85 31

FORSKNINGSSTASJONEN FLØDEVIGEN*FLØDEVIGEN RESEARCH STATION*

N-4817 His - Norway

Tel: +47 37 01 05 80 - Fax: +47 37 01 05 15

AUSTEVOLL HAVBRUKSSTASJON*AUSTEVOLL AQUACULTURE RESEARCH STATION*

N-5392 Storebø - Norway

Tel: +47 56 18 03 42 - Fax: +47 56 18 03 98

MATRE HAVBRUKSSTASJON*MATRE AQUACULTURE RESEARCH STATION*

N-5198 Matredal - Norway

Tel: +47 56 36 60 40 - Fax: +47 56 36 61 43