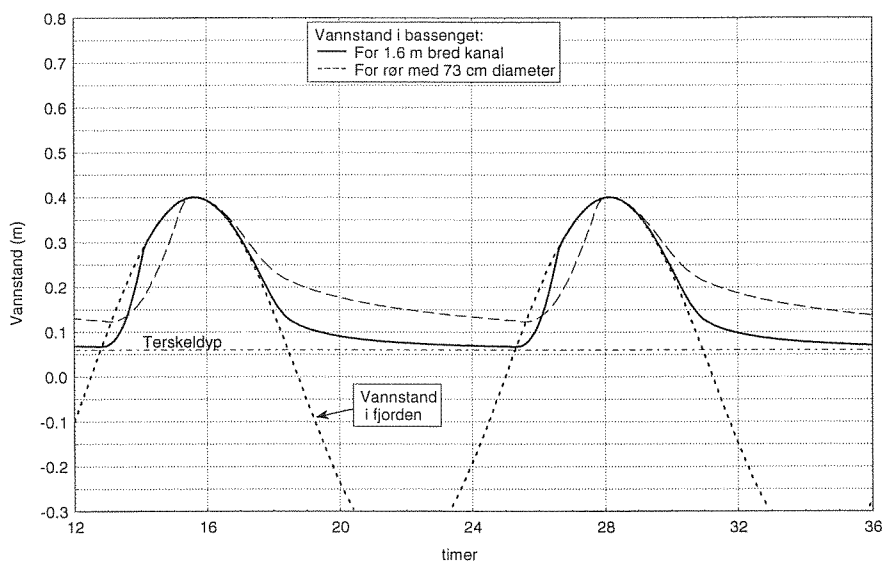


# Vurdering av vann- utskiftningsforholdene i et basseng på Hjertøya, Molde kommune



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 1  
4890 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5008 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-NIVA A/S**

Søndre Tollbugate 3  
9000 Tromsø  
Telefon (47) 77 68 52 80  
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Vurdering av vannutskiftningsforholdene i et basseng på Hjørtøya, Molde kommune	Løpenr. (for bestilling) <b>3620</b>	Dato <b>7. februar 1997</b>
	Prosjektnr. Undernr. <b>93152</b>	Sider Pris <b>17 kr.75,-</b>
Forfatter(e) Bjerkeng, Birger	Fagområde <b>Generelle marine undersøkelser</b>	Distribusjon
	Geografisk område <b>Møre og Romsdal</b>	Trykket <b>NIVA</b>

Oppdragsgiver(e) Molde kommune	Oppdragsreferanse <b>NIVA: Jnr. 2054/96 Molde kommune: 96.013808, 02518</b>
-----------------------------------	--

Sammendrag

Rapporten vurderer muligheten for å forbedre vannutskiftningen og redusere problemet med ansamling av slam på bunnen i et kunstig anlagt badebasseng på Hjørtøya i Moldefjorden. Bassenget ble anlagt ved utgraving og støping av sidevegger rundt et naturlig tjern, og har forbindelse til fjorden via et rør som i dag er delvis sammenrast. For å beregne vannutskiftningen i bassenget er det gjort simuleringer med en enkel hydraulisk modell for ulike utforminger av forbindelse til fjorden, både med åpen kanal og rør, og det foreslås en utforming som kan gi bedre utskifting av vann i det dypeste partiet. Det må likevel regnes med behov for noe vedlikehold i form av opprensing.

Fire norske emneord

1. Vannutskifting
2. Hydraulisk modell
3. Basseng
4. Marine forhold

Fire engelske emneord

1. Water Exchange
2. Hydraulic model
3. Basin
4. Marine Conditions

  
Birger Bjerkeng  
Prosjektleder

ISBN 82-577-3176-5

  
Bjørn Braaten  
Forskningsjef

**Vurdering av vannutskiftningsforholdene i et  
basseng på Hjertøya, Molde kommune**

## **Forord**

Denne vurderingen er laget på oppdrag for Molde kommune. Kontaktperson hos oppdragsgiver har vært miljøvernrådgiver Knut Sørgaard.

Kvalitetssikrer på NIVA har vært Jarle Molvær.

Oslo, 7.februar 1997

*Birger Bjerkeng*

# Innhold

Sammen drag	5
<b>1. Bakgrunn</b>	<b>6</b>
<b>2. Problemstilling</b>	<b>6</b>
<b>3. Bakgrunnsdata</b>	<b>8</b>
3.1 Areal- og dybdeforhold	8
3.2 Vannkvalitet og bunnforhold i bassenget	9
3.3 Vannstandsvariasjon i fjorden utenfor	9
3.4 Betydning av nedbør for vannutskiftning	9
3.5 Tetthetsvariasjoner i fjorden utenfor	9
<b>4. Hydrauliske beregninger av vannutskiftning</b>	<b>10</b>
<b>5. Svar på spørsmålene stilt i bestillingsbrevet</b>	<b>13</b>
5.1 Vil en utgraving av kanalen til ca. 1.6 m bredde gi en tilfredsstillende vannutskiftning?	13
5.2 Hvordan ville utskiftningen være hvis røret var intakt og ikke begrodd innvendig?	14
5.3 Må kanalen sprenges dypere enn idag for å få tilfredsstillende vannutskiftning?	14
5.4 Hvordan vil evt. bedret vannutskiftning påvirke bunnsedimentet? Kan en tenke seg at oksygenforholdene blir så mye bedre at det svarte slammet blir brutt ned og forsvinner?	14
5.5 Kan en tenke seg fysiske tiltak for å fjerne bunnslam?	16
5.6 Vil det kunne oppstå begroing av alger i kanalen slik at vannutskiftningen reduseres?	16
<b>6. Litteratur</b>	<b>17</b>

## Sammendrag

Rapporten vurderer muligheten til å forbedre vannutskiftningen i et kunstig anlagt badebasseng på Hjertøya i Moldefjorden, og redusere problemet med ansamling av slam på bunnen. Bassenget ble anlagt ved utgraving og støping av sidevegger rundt et naturlig tjern, og har forbindelse til fjorden via et rør som i dag er delvis sammenrast. Vannkvaliteten i dag er oppgitt å være dårlig i sommerperioden, med betydelig algeproduksjon i varme perioder. Bunnen er i mer eller mindre grad dekket av et svart mudder eller slam, som virvles opp ved forstyrrelser og tildels er illeluktende, antagelig pga. H<sub>2</sub>S-utvikling i sedimentet, særlig i det dypeste partiet.

Vannutskiftningen er bestemt av vannstandsvariasjonene i fjorden og av hvor godt bassenget er i stand til å følge disse. For å drive strøm gjennom kanalen eller røret må det være et visst fall i vannstand i strømrørningen, delvis for å gi vannet nødvendig kinetisk energi, og delvis for å overvinne friksjonen. For å beregne vannutskiftningen i bassenget er det gjort simuleringer med en enkel hydraulisk modell.

For en åpen kanal vil bassenget følge vannstanden i fjorden med opp til en halv times forsinkelse, og nå opp i samme maksimalnivå. I løpet av lavvannsperioden vil bassenget tømmes omtrent ned til terskeldyp. For et sirkulært rør med diameter 0.73 m går utstrømningen langsommere, og minste vannstand vil ligge 7-8 cm over terskeldypet. For å få samme vannutskiftning som for en kanal, må terskeldypet for røret altså legges noe dypere. Ruhet og helning av bunnen vil innvirke lite på vannutskiftningen.

Konklusjonen ut fra beregningene blir at det ikke er nødvendig å sprengne kanalen dypere enn i dag for å få større vannutskiftning. Med terskel omkring middelvannstand som i dag vil restvolumet være lite i forhold til det som strømmer ut og inn i bassenget pr. tidevannsperiode, og oppholdstiden bør kunne ligge omkring 10 timer selv med dagens terskeldyp.

Bassenget utgjør antagelig et sedimentasjonsområde for partikler, både av det som produseres inne i bassenget og det som fraktes inn med utskiftningsvannet. Helt klart og friskt vann kan en neppe vente å oppnå i bassenget, selv med maksimal naturlig vannutskiftning. Akkumuleringen av leire/silt og organisk stoff i det dypeste partiet kan skyldes at vannutskiftningen her er begrenset, eller at partiklene ved stadig oppvirvling og utfelling på bunnen etterhvert vil samles i de dypeste partiene.

Senkning av terskeldypet vil gi en bedre tømming av bassenget, og derved kanskje mindre akkumulering av slam og organisk materiale på bunnen i det dypeste partiet. Bedre utskiftning av det dypeste partiet kan også oppnås ved å tvinge vannstrømmen til å gå via dette volumet i deler av en vanlig utskiftningsperiode. Det kan gjøres ved å anlegge overgangen mellom kanalen eller forbindelsesrøret som en slags sluse, med en vegg som har åpning nede ved største dyp, slik at vannet tildels tvinges til å strømme ut langs bunnen.

For å forsøke å rense bunnen kan en med mellomrom forstyrre bunnen i en utstrømningsperiode, slik at sand og grus sedimenterer igjen inne i bassenget, mens det fine slammet, og spesielt det organiske materialet, som vil holdes svevende i vannfasen noe lenger, fraktes ut av bassenget.

Begroing kan begrense vannutskiftningen både i en åpen kanal og i et rør. I begge tilfelle må en være forberedt på et visst vedlikehold i form av opprensing.

## 1. Bakgrunn

Molde kommune, ved miljøvernrådgiver Knut Sørgaard, har i brev av 18.7.1996 bedt NIVA vurdere utskiftningsforholdene i et kunstig anlagt badebasseng på Hjertøya sør for Molde by (beliggenheten er vist på kartet i figur 1). Bakgrunnen er nærmere beskrevet i et notat som var vedlagt brevet sammen med kart, skisser og fotografisk materiale.

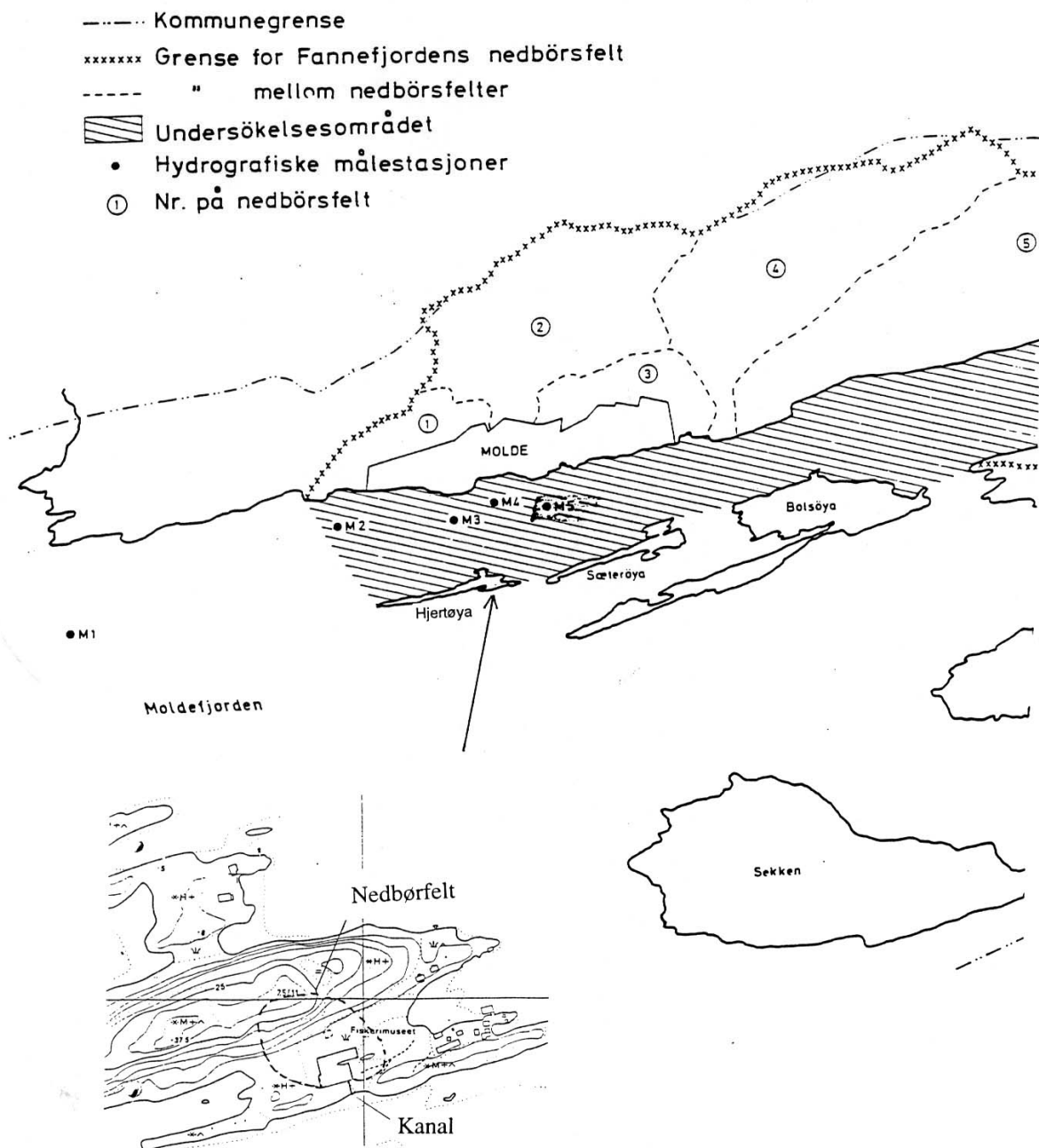
Bassenget ble anlagt på 1960-tallet ved utgraving og støping av sidevegger rundt et naturlig tjern som antagelig hadde utløp mot vest. De vestre delene ble i følge tilsendt kartmateriale fylt igjen, og det ble sprengt en kanal mot sør hvor det ble lagt ned et rør som forbindelse med fjorden utenfor. Hensikten var å få et badebasseng med naturlig oppvarmet vann. Imidlertid viste det seg etter kort tid at vannkvaliteten ble for dårlig, med algevekst ("grønnske") i bassenget og med svart illeluktede mudder på bunnen, spesielt i de dypeste delene av bassenget. Utskiftningen har i flere år vært redusert pga. at røret er delvis sammenrast.

## 2. Problemstilling

Som ett av flere alternative tiltak skal det vurderes om det ved forholdsvis enkle tiltak kan oppnås bedre vannutskiftning, slik at man får brukbare vann- og bunn-forhold for bading. Ifølge opplysninger fra miljøvernrådgiveren er det begrenset hva som er mulig av tekniske tiltak som innbefatter pumping av vann, idet området ikke er tilknyttet noe strømmnett. Det finnes imidlertid strømaggregat på fiskerimuseet like ved, så pumping i deler av sommeren kan være mulig. Det er også økonomiske begrensninger, og store arbeider ut over å grave opp kanalen er derfor neppe aktuelt. Dessuten er det ikke mulig med tiltak som krever kontinuerlig driftsinnsats.

Problemstillingen som ønskes besvart er nærmere konkretisert i brev av 18.7.1996 fra Molde kommune. Det stilles der følgende spørsmål:

1. Vil en utgraving av kanalen til ca. 1.6 m bredde gi en tilfredsstillende vannutskiftning?
2. Hvordan ville utskiftningen være hvis røret var intakt og ikke begrodd innvendig?
3. Må kanalen sprenges dypere enn i dag for å få tilfredsstillende vannutskiftning?
4. Hvordan vil evt. bedret vannutskiftning påvirke bunnsedimentet? Kan det tenkes at oksygenforholdene blir så mye bedre at det svarte slammet blir brutt ned og forsvinner?
5. Kan en tenke seg fysiske tiltak for å fjerne bunnslam?
6. Vil det kunne oppstå begroing av alger i kanalen slik at vannutskiftningen reduseres?



Figur 1 Kartutsnitt som viser Moldefjorden med Hjørøya, og plassering av hydrografiske målestasjoner (M2 - M5) ved tidligere undersøkelser (fra Molvær 1993). Hovedkart ca. 1:150 000, detaljkart 1:10 000.



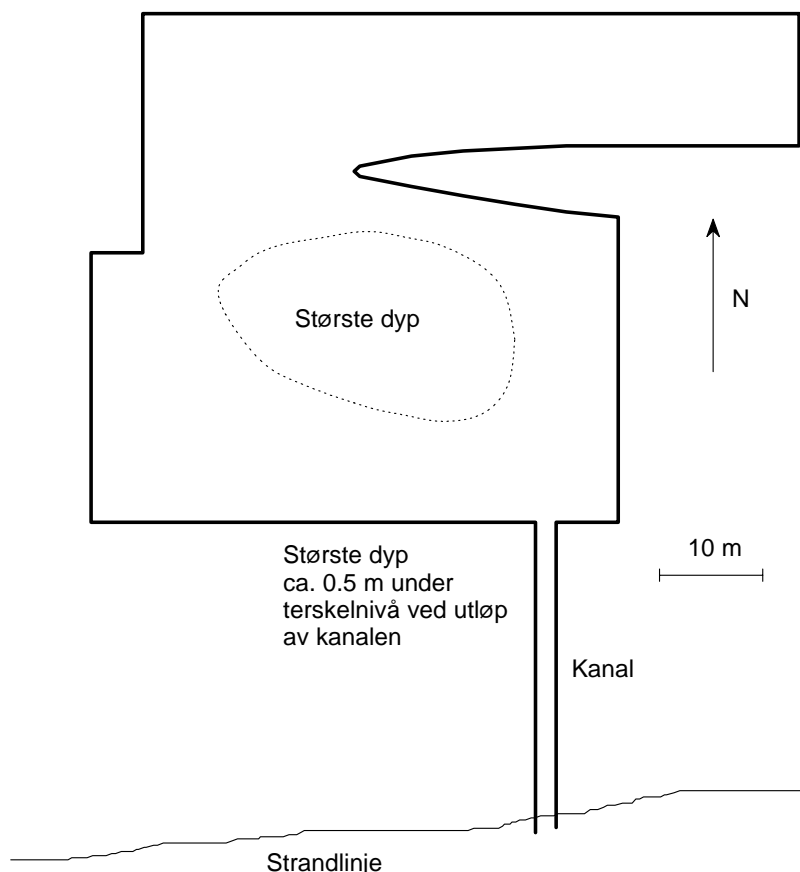
### 3. Bakgrunnsdata

#### 3.1 Areal- og dybdeforhold

Bassenget er avgrenset av en støpt betongkant som går opp til ca. 80 cm over middelvannstand. Ifølge tilsendt kartskisse fra Molde kommune (figur 2) er totalt basseng-areal er ca. 2,500 m<sup>2</sup>. Av dette ligger anslagsvis 400 m<sup>2</sup> under middelvannstand med opptil 0.5 m, dvs. at volumet under middelvannstand helt grovt kan anslås til 70 - 100 m<sup>3</sup> (triangel-formet eller parabelformet bunn).

I bassenget ellers ser det ut til å være noe varierende bunndyp. Av tilsendt billedmateriale ser det ut til at når vannstanden er omtrent midt på utløpet av røret, dvs. ca. 30-40 cm over middelvannstand, er så å si hele bassenget er dekket av vann.

Ved beregningene nedenfor er det antatt at bassenget har fullt areal, 2500 m<sup>2</sup>, fra middelvannstand og opp. Det gir kanskje noe for store beregnede volumtransporter ved gitt vannstandsending, og dermed også sterkere begrensning av et gitt strømtverrsnitt. På den måten er det en konservativ (forsiktig) antagelse. Beregningen kan imidlertid komme til å overdrive vannutskiftningen av dypere lag ved den foreslåtte løsning (se nedenfor). En mer nøyaktig beregning ville kreve mer detaljerte opplysninger om bunnforholdene i bassenget.



Figur 2. Skisse av bassenget på Hjertøya med forbindelsen til fjorden inntegnet.

### 3.2 Vannkvalitet og bunnforhold i bassenget

Vannkvaliteten i dag er oppgitt å være dårlig i sommerperioden, med betydelig algeproduksjon i varme perioder. Bunnforholdene er forskjellige i ulike deler av bassenget. Den innerste delen av bassenget, delvis adskilt fra resten av en fjellrygg, er grunnest og har fast bunn. Bunnen er ellers oppgitt å bestå av sand og grus i hoveddelen av bassenget, med ren sand nærmest kanalen mot fjorden. Bunnen er i mer eller mindre grad dekket av et svart mudder eller slam, som virvles opp ved forstyrrelser og tildels er illeluktende, antagelig p.g.a. H<sub>2</sub>S-utvikling i sedimentet. I de dypeste partiene er det sand og grus tildekket av et 10 cm tykt lag av gytje/leire/silt som også inneholder svart, finkornet organisk materiale.

### 3.3 Vannstandsvariasjon i fjorden utenfor

Vannutskiftningen er bestemt av vannstandsvariasjonene i fjorden og av hvor godt bassenget er i stand til å følge disse. For kanal eller rør med terskeldyp omkring middelvannstand vil det være høyvann som er av interesse. Tidevannstabellene gir ikke tall for Molde, men tabellen for Kristiansund (nærmeste standardhavn) viser at høyvannstand stort sett varierer fra 40 cm til 100 cm over middelvann i løpet av en måned, med 67 cm som gjennomsnittsverdi<sup>1</sup>. Astronomisk høyeste vannstand er ca. 1.2 m over middelvannstand. I tillegg kommer mer uregelmessige vannstandsvariasjoner som genereres av lufttrykksendringer og vind, de kan gi vannstandsforskyvninger på opp mot 1 meter. Det må derfor ventes at vannutskiftningen pr. døgn varierer betydelig over tid, og i perioder kan være svært liten.

Tidevannsdrevet utveksling gjennom kanalen ved variasjon mellom terskeldyp på 6 cm over middelvannstand og midlere høyvann på 67 cm vil pr. tidevannsperiode på 12.5 timer gi en innstrømning på ca. 1500 m<sup>3</sup> ved stigende vannstand og deretter like stor utstrømning ved synkende vannstand. Tenker vi oss inn- og ut-transportene midlet over tid, tilsvarer det en midlere gjennomstrømning på 33 l/s. Beregninger nedenfor tyder på at det meste av dette bør kunne realiseres, både for en kanal og et rør uten tilgroing.

### 3.4 Betydning av nedbør for vannutskiftning

Nedbørfeltet til bassenget angis å ha et areal på 25,000 m<sup>2</sup>. Liseth et al. (1973) angir midlere avrenning for små nedbørfelt med lite bebyggelse til ca. 0.05 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>, med et maksimum som er ca. 50 % større. Det skulle tilsi ca. 1.25 l s<sup>-1</sup> i middel og maksimalt opp mot 2 l s<sup>-1</sup>, eller 60-90 m<sup>3</sup> pr. tidevannsperiode (12.5 timer). Ferskvannstilrenningen er altså vanligvis vesentlig mindre enn den normale tidevannsutskiftningen, og vil ikke ha vesentlig innvirkning på hverken utskiftningshastighet eller saltholdighet i bassenget. Det eneste unntaket er etter kraftige regnskyl, f.eks. vil 30 mm nedbør tilsvare 750 m<sup>3</sup>, dvs. opp mot 50 % av maksimal utskiftning pr. tidevannsperiode, men det vil bare være en helt kortvarig og begrenset påvirkning.

### 3.5 Tetthetsvariasjoner i fjorden utenfor

Data for salinitet og temperatur i fjorden utenfor finnes fra flere resipientundersøkelser i Moldefjorden i årene 1971-72, 1984-85 og 1992 (Liseth et al. 1973, Nilsen og Bang 1987 og Molvær 1993). De aktuelle stasjonene (M2-M5, se figur 1) ligger nord for Hjertøya, med opp til 4-5 km innbyrdes avstand. Det er ingen data fra sørsiden hvor bassenget ligger. Det finnes forholdsvis lite data for sensommerperioden, men noe fra mai og juni. Av de data som finnes kan det konkluderes med at

---

<sup>1</sup> Det er angitt i tidevannstabellene at Åndalsnes følger Kristiansund med tidskorreksjon 18 minutter og høydekorreksjonsfaktor 0.97, ut fra dette antas at tallene for Kristiansund gjelder godt for Molde også.

saliniteten i de øverste 2 meter kan variere med opp til 2-3 psu-enheter (‰) på kort skala, dvs. mellom stasjonene samme dag eller rett påfølgende dager, og også med en lignende variasjon i de øvre 2 meter innenfor en dybdeprofil. Ofte er det imidlertid nokså homogene vannmasser. Data tyder på at det i løpet av en innstrømningsperiode (~ 6-7 timer) kan komme inn vann av noe varierende saltholdighet, idet vannet i fjorden samtidig vil forflytte seg. Generelt vil det vannet som kommer inn tidlig under innstrømningsfasen og hentes helt i overflaten, kunne være varmere og mindre salt, og derved lettere enn det vannet som kommer inn senere. Kombinert med oppvarming av vannet inne i det grunne bassenget kan det gi opphav til en viss tetthetssjiktning inne i bassenget, som kan bidra til at det dypeste partiet får begrenset utskiftning. Noen enkle målinger av salinitet og temperatur i innstrømmende vann og inne i bassenget i løpet av en tidevannsperiode ville kunne fastslå om dette er noe vesentlig moment.

## 4. Hydrauliske beregninger av vannutskiftning

Vannstanden i bassenget vil følge vannstandsvariasjonene i fjorden med en viss tidsforsinkelse. For å drive strøm gjennom kanalen eller røret må det være et visst fall i vannstand i strømrørningen, delvis for å gi vannet nødvendig kinetisk energi, og delvis for å overvinne friksjonen.

For å beregne vannutskiftningen i bassenget er det gjort simuleringer med en enkel hydraulisk modell. Simuleringen kan beskrives som en enkel differensialligning som uttrykker vannbalansen for bassenget:

$$A(h_b) \cdot \frac{dh_b}{dt} = Q(h_f, h_b)$$

Her er  $A$  overflatearealet av bassenget som funksjon av vannstand  $h_b$  inne i bassenget,  $h_f$  er vannstanden i fjorden (begge vannstands nivåer varierer med tid  $t$ ), og  $Q$  innstrømningen i bassenget (<0 ved utstrømning) bestemt av vannstand i fjorden og bassenget. Som nevnt er det i beregningene gått ut fra at  $A$  er konstant, uavhengig av  $h_b$  ovenfor middelvannstand.

Simuleringen består i å integrere  $h_b$  numerisk som funksjon av tid når  $h_f$  er gitt som en sinus-funksjon. Beregningene er basert på formler i Engelund (1969). For hvert tidspunkt, med  $h_b$  og  $h_f$  gitt, finnes  $Q$  ved en iterativ prosess slik at friksjonstap og kinetisk energi tilsvarer den faktiske variasjon i vannstand gjennom kanalen eller røret, og det brukes så til å integrere endringen av  $h_b$  med tid. Iterasjonen av  $Q$  gjøres ved å integrere trykktapene (=høydeforskjell) i strømrørningen til enhver tid for ulike  $Q$ -verdier, inkludert det som skal til for å gi vannet sin strømhastighet og friksjonstap gjennom kanalen eller røret, og interpolere  $Q$  inntil en får riktig samlet vannstandsfor forskjell. Som vanlig ved hydrauliske beregninger antas tilnærmet stasjonær strøm (dynamisk likevekt), dvs. at endring av vannstand med tid skjer så langsomt at det kan neglisjeres. Det innebærer at volumstrømmen ( $m^3/s$ ) regnes konstant gjennom hele strømningslengden, slik at horisontal variasjon i vannstand eller trykk tilsvarer det som brukes til å overvinne friksjon og/eller akselerere vannet. Beregningene er basert på Colebrooks formel for friksjonstap, basert på hydraulisk radius, og anvendes for kanal eller rør med varierende fyllingsgrad over tid og i lengderetningen. Det tas hensyn til overgang mellom turbulent og laminær strøm (ved små hastigheter) og til mulig kritisk (gravitasjonsdrevet) strøm i begrensede tverrsnitt.

Friksjonen vil avhenge av ruheten av bunn og vegger i kanalen eller røret. Ruheten  $k$  er gitt som et lengdemål, og kan grovt sies å tilsvare dimensjonene på ujevnheter i veggen.

For nye plastrør brukt til avløpsledninger er det vanlig å operere med en ruhet på 0.05-0.1 mm (Tom A. Karlsen, Interconsult, pers. medd.), men den øker med tiden p.g.a. beleggdannelse (og kanskje også slitasje p.g.a. partikler), til iallfall opp mot 0.5 mm. Ved praktisk dimensjonering brukes ofte verdien 1 mm, det er en langtidsverdi som tar hensyn til at det etterhvert dannes belegg på innsiden av røret. I en

del tilfeller er det målt ruhet på helt opp i 4-5 mm i eldre plastrør. For støpejernsrør angir Engelund (1969) 0.3-2 mm, for betongrør 0.3-3 mm, det gjelder antagelig nye rør, slik at belegg og begroing også her vil øke ruheten.

For å ta hensyn til mulig begroing, som må ventes å bli adskillig større i et åpent rør i overflatelaget enn for en ledning med avløpsvann, benytter vi verdier på hhv. 2 og 10 mm for røralternativet.

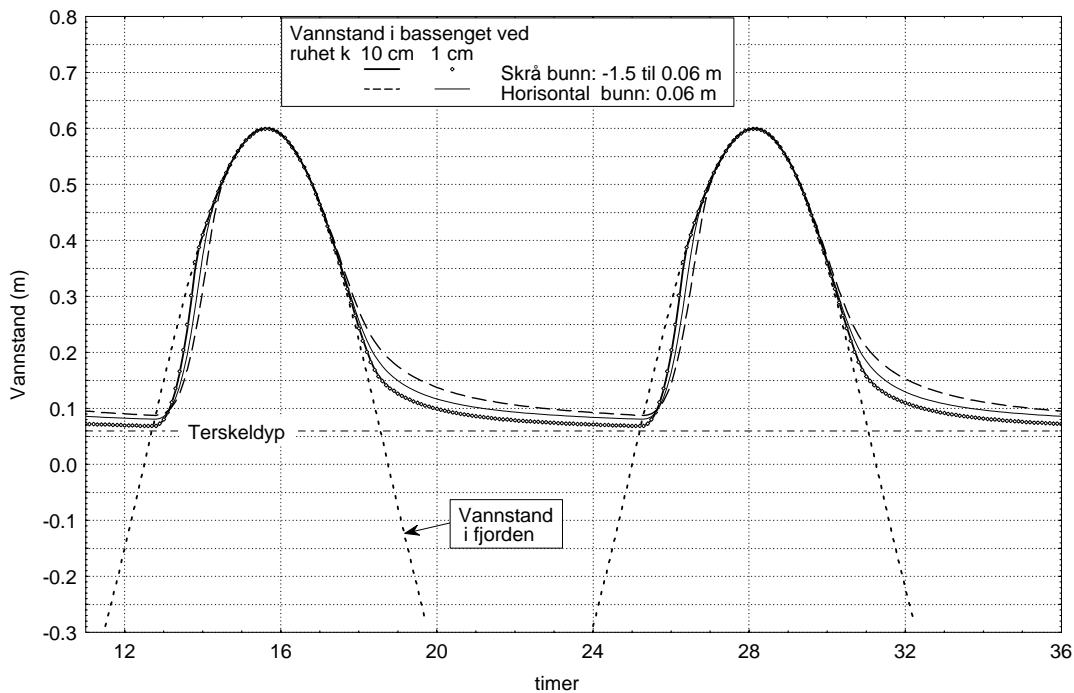
For naturlige elver og kanaler oppgir Engelund (1969) ruhetsverdier på 1-20 cm. Vi har benyttet 1 og 10 cm i beregningene for utgravd eller støpt rektangulær kanal. Den største av disse verdiene burde omfatte virkning av en god del begroing. Den laveste av disse verdiene er lik største verdi brukt for rør, slik at vi kan sammenligne virkningen av selve strømmingstverrsnittet direkte.

Resultatene av simuleringene er vist i figurene nedenfor. Vi har beregnet for maksimal vannstand 60 og 40 cm over middelvannstand, delvis for rektangulært kanaltverrsnitt med bredde 1.6 m, og delvis for sirkulært rør med diameter 0.73 m. I alle tilfelle er det antatt at terskeldypet ligger 6 cm over middelvannstand. Ved beregningene er det delvis antatt at terskeldypet bare gjelder innerst, og at kanalen eller røret er anlagt med fall 1:15 utover, til et dyp -1.5 m ytterst, etter lengde 25 m. Et slikt fall er antydning på en tilsendt prinsippsskisse fra oppdragsgiver, uten at det er angitt noe bestemt helningsforhold. Det fallet som er brukt, er basert på den helningen som kan beregnes ut fra bredden av tidevannsbeltet angitt på kart. Til sammenligning er det også beregnet for kanal eller rør uten noen helning, dvs. med største bunnndyp 6 cm over middelvannstand over hele lengden.

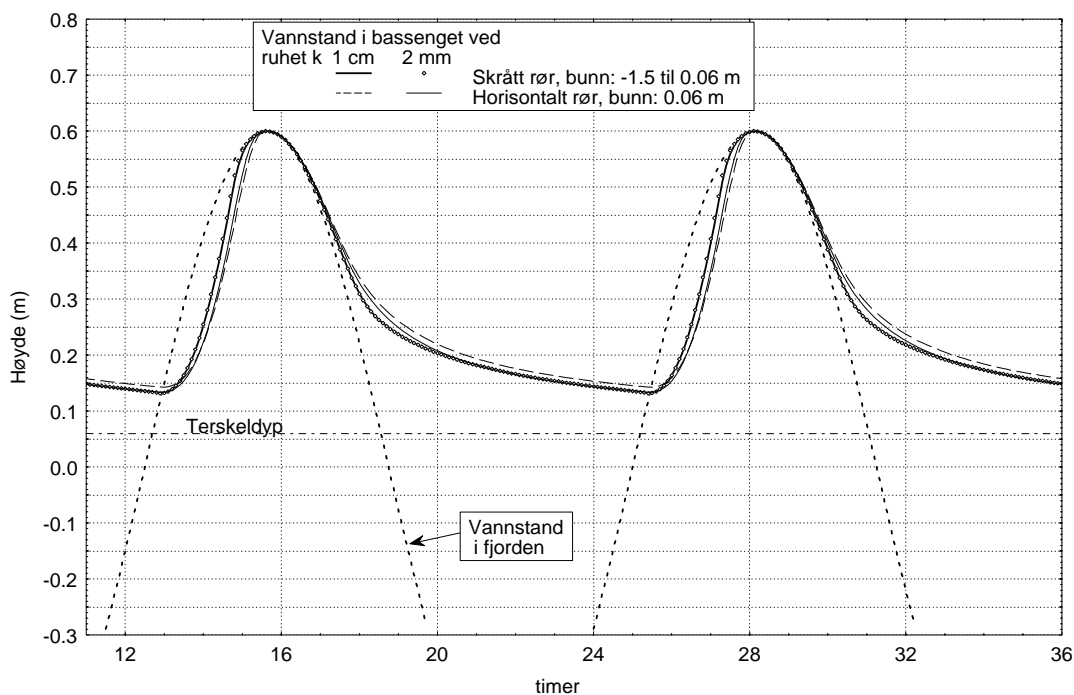
Figur 3 viser resultatene for en åpen kanal med lengde 25 m når vannstands-maksimum i fjorden er 60 cm over middelvannstand. Ved stigende vannstand over terskelnivå vil vannstanden i bassenget følge vannstanden i fjorden med opp til en halv times forsinkelse, og nå opp i samme maksimalnivå. I løpet av lavvannsperioden vil bassenget tømmes omtrent ned til terskeldyp. Vi ser at hvis bunnen faller utover med helning 1:15 spiller ruheten i kanalen ingen rolle, og minste vannstand i bassenget blir ca. 1 cm over terskeldypet. Så lenge terskeldypet er fast, er det lite å vinne ved å grave kanalen dypere enn dette. Hvis bunnen er uten helning, vil minste vannstand i bassenget bli 1-2 cm høyere, dvs. at vannutskiftningen blir ca. 2 % lavere. I dette tilfelle har ruheten en viss innvirkning, om enn ganske beskjeden; ved største ruhet minskes vannutskiftningen med ca. 1 %.

Figur 4 viser tilsvarende beregninger for et sirkulært rør med diameter 0.73 m. Her er tidsforsinkelsen ved innstrømning en del større, med en forsinkelse på opp til 1 time men en når likevel opp i samme maksimalvannstand som i fjorden. Større virkning har det at utstrømningen går langsommere; minste vannstand ligger 7-8 cm over terskeldypet. Vannutskiftningen blir altså ca. 10 % mindre enn for en åpen kanal når maksimal vannstand i fjorden er ved middelhøyvann. Helningen på røret og ruheten har forholdsvis liten betydning; ved horisontalt rør og ruhet  $k=1$  cm er minste dyp ca. 1 cm høyere enn for de andre alternativene.

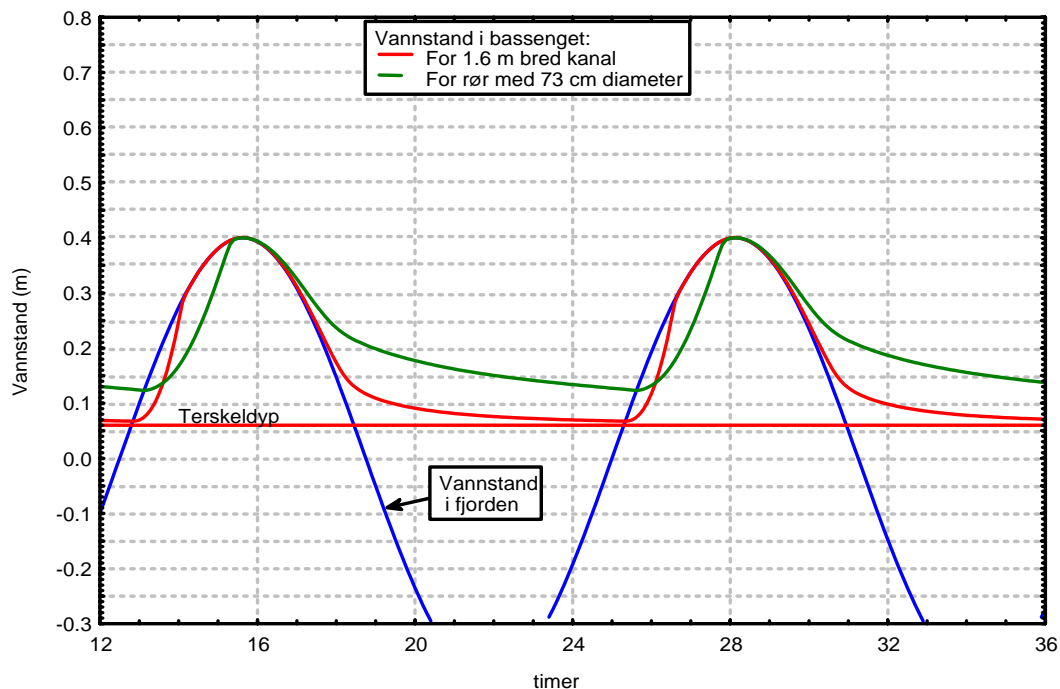
I figur 5 sammenlignes vannstandsvariasjonene ved lavt høyvann, ca. 40 cm over middelvannstand, for kanal og rør av samme ruhet, med helning 1:15 fra terskeldyp. Det sees at rør gir opp til 1 time forsinkelse sammenlignet med kanal ved vannstandsøkning. Maksimal vannstand er den samme i begge tilfelle, og lik maksimal vannstand i fjorden, mens minste vannstand i bassenget er 6-7 cm høyere for rør enn for kanal med samme terskeldyp. Vannutskiftningen er altså i dette tilfelle ca. 15 % mindre for rør-alternativet enn for åpen kanal.



Figur 3. Vannstandsvariasjon i bassenget ved amplitude 60 cm i fjorden for utgravd rektangulær kanal med bredde 1.6 m og ruhet  $k=1$  cm og 10 cm. Vannstand gitt som avvik fra middelevel.



Figur 4. Vannstandsvariasjon i bassenget ved amplitude 60 cm i fjorden for sirkulært rør med innvendig diameter 0.73 m, ved ruhet  $k=1$  cm og 2 mm.



Figur 5. Vannstandsvariasjon i bassenget ved amplitude 40 cm i fjorden. Sammenligning av kanal med bredde 1.6 m og sirkulært rør med diameter 0.73 m, begge ved ruhet  $k=1$  cm, og helning 1:15 utover fra terskeldyp innerst.

Den absolute forskjellen i vannutskiftning mellom kanal og rør er altså omtrent den samme uansett hva maksimal vannstand er, dvs. at den relative forskjellen blir større jo lavere høyvannstanden i fjorden er i en gitt tidevannsperiode. Det henger sammen med at begrensningene gjør seg gjeldende ved små strømmingstverrsnitt. Ved innstrømning er det en viss forsinkelse i startfasen, men maksimal vannstand vil bli nådd i alle fall fordi det i sluttfasen ikke er noen vesentlige begrensninger. Det er utstrømningsfasen som begrenser vannutskiftningen.

For å få samme vannutskiftning gjennom et rør med diameter 0.73 m som gjennom en rektangulær kanal med bredde 1.6 m, begge med lengde 25 m, er det nødvendig å legge røret med terskeldypet ca. 5-10 cm lavere enn for kanalen. Dersom en tar hensyn til dette, kan de to alternativene betraktes som nokså likeverdige mht. utskiftning.

## 5. Svar på spørsmålene stilt i bestillingsbrevet

### 5.1 Vil en utgraving av kanalen til ca. 1.6 m bredde gi en tilfredsstillende vannutskiftning?

Dersom det blir gravd ut en kanal med 1.6 m bredde, kan en regne med at bassenget fullt ut vil følge vannstandsvariasjoner i fjorden ovenfor terskeldypet i kanalen. Ved stigende vannstand mot høyvann vil bassenget følge fjorden med en forsinkelse på opp mot en halv time, og nå samme maksimale vannstand som fjorden. Om dette gir tilfredsstillende forhold diskuteres nærmere nedenfor.

## 5.2 Hvordan ville utskiftningen være hvis røret var intakt og ikke begrodd innvendig?

Med et rør med diameter 0.73 m som var intakt og ikke begrodd innvendig, burde vannstandsvariasjonen følge stigende vannstand i fjorden med en forsinkelse på opp mot 1 time, og nå samme maksimale vannstand som i fjorden. Vannutskiftningen vil likevel være noe mer begrenset enn ved en 1.6 m bred kanal med samme terskeldyp, idet nedre vannstandsgrense ligger ca. 6-7 cm høyere i forhold til terskeldypet ved ruhet i området  $k=2$  til 10 mm. Det betyr ca. 10-15 % mindre vannutskiftning enn for en kanal når høyeste vannstand i fjorden når opp til middelvannstand eller noe lavere. Det vesentlige her ser ut til å være det mindre strømningsverrsnittet, og ikke friksjonen i røret.

For et rør lagt uten helning i 25 meters lengde vil økende ruhet gi en viss tilleggsbegrensning (1 cm forskjell i minste vannstand ved ruhet  $k=1$  cm i forhold til ved  $k=2$  mm). Hvis røret legges med fall 1:15 utover, har økende ruhet ikke noe å si opp til  $k=10$  mm. Dette er en forholdsvis stor ruhet sammenlignet med det som er vanlig i avløpsledninger, selv med belegg og etter slitasje, og kan ansees å ta hensyn til en viss begroing, f.eks. av rur, og oppskraping p.g.a. sand- og silt-partikler i vannet.

Alt i alt vil et rør med 73 cm innvendig diameter gi samme vannutskiftning som en kanal i 1.6 m bredde dersom terskeldypet for røret legges ca. 5-10 cm dypere enn kanalen og det ikke er noe særlig begroing.

Vi kan ikke ut fra de gitte opplysninger beregne dagens vannutskiftning med sammenrast rør, og kan derfor heller ikke beregne direkte hvor mye det er mulig å bedre vannutskiftningen. Det kan enkelt bringes på det rene ved å måle vannstandsvariasjonene inne i bassenget direkte i forhold til vannstandsvariasjonene i fjorden.

## 5.3 Må kanalen sprenges dypere enn idag for å få tilfredsstillende vannutskiftning?

De hydrauliske beregningene viser at for en kanal er terskeldypet som er avgjørende, og at det spiller forholdsvis liten rolle om kanalen anlegges med flat bunn i 25 meters lengde eller med skrånende bunn utover mot fjorden. I det siste tilfellet vil strømningsverrsnittet øke ut gjennom kanalen slik at friksjonstapet blir noe mindre, men det innvirker ikke med mer enn 2-3 cm på nedre vannstands nivå (Figur 3).

Konklusjonen ut fra beregningene blir at det ikke er nødvendig å sprengre kanalen dypere enn i dag for å få større vannutskiftning dersom en har åpen kanal eller rør som de alternativene vi har beregnet for. Med nedre vannstand omkring middelvannstand som i dag vil restvolumet ( $75-100 \text{ m}^3$ ) stort sett være lite i forhold til det som strømmer ut og inn i bassenget pr. tidevannsperiode, og oppholdstiden blir derfor ikke vesentlig endret, den bør kunne ligge omkring 10 timer selv med dagens terskeldyp.

## 5.4 Hvordan vil evt. bedret vannutskiftning påvirke bunnsedimentet? Kan en tenke seg at oksygenforholdene blir så mye bedre at det svarte slammet blir brutt ned og forsvinner?

Bassenget utgjør antagelig et sedimentasjonsområde for partikler, både av det som produseres inne i bassenget og det som fraktes inn med utskiftningsvannet. Vannet i bassenget vil ha lavere strømhastigheter og være mindre vindpåvirket enn i fjorden utenfor, og organiske partikler vil derfor i mindre grad holdes svevende i vannet i bassenget enn i fjorden utenfor. En kan derfor neppe oppnå forhold i bassenget på linje med forholdene i fjorden utenfor uten en viss grad av vedlikehold og opprydding av akkumulert organisk slam.

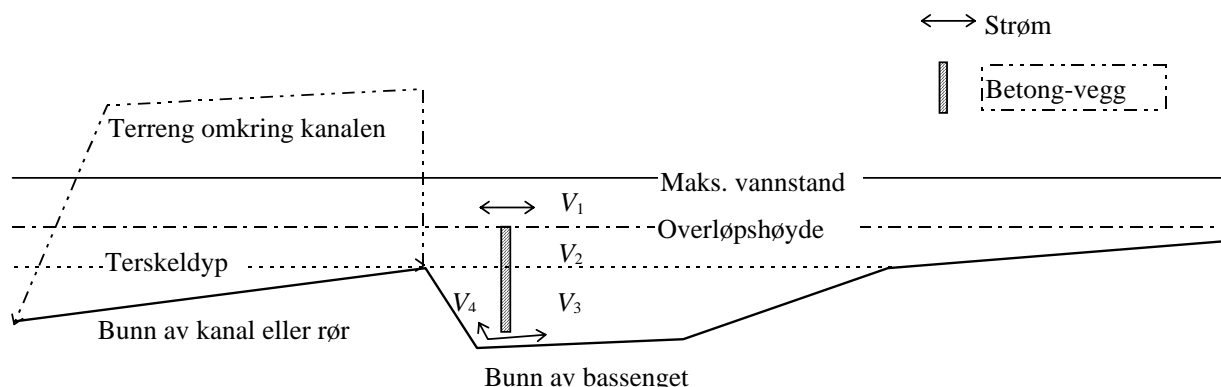
I det volumet av bassenget som ligger dypere enn underkant av røret, kan det tenkes å være en tendens til at det er litt tyngre vann enn i laget ovenfor. Dersom saliniteten og dermed tettheten i fjorden utenfor varierer over tid, vil det innstrømmende vannet ha varierende tetthet. Når det kommer inn tungt vann, vil det skifte ut vann i det dypeste partiet, men ellers vil dette vannet til en viss grad kunne bli stagnant, og dette kan bli forsterket dersom vannet i de grunneste partiene blir oppvarmet inne i bassenget og derved blir lettere.

Helt klart og friskt vann kan en neppe vente å oppnå i bassenget, selv med maksimal naturlig vannutskiftning. Det fremgår av tilsendte fotografier at det er tett bestand av fastsittende alger i strandsonen utenfor, og da må en selvsagt regne med begroing også på innsiden. Et innestengt grunnområde med gode lysforhold helt til bunnen og noe ekstra oppvarming av vannet vil gi gode vekstmuligheter for alger. Noe av hensikten med bassenget synes å være å få en viss grad av ekstra oppvarming, i den grad dette er vellykket vil en også risikere økt algevekst.

Akkumuleringen av leire/silt og organisk stoff på bunnen i det dypeste partiet kan delvis skyldes at vannutskiftningen her er begrenset, slik at partikler som havner her får større sjanse til å sedimentere. Delvis kan det henge sammen med at disse fraksjonene ved stadig oppvirvling og utfelling på bunnen etterhvert vil samles i de dypeste partiene uansett, dvs. selv om vannutskiftningen er jevnt fordelt.

Senkning av terskeldypet vil selvsagt gi en bedre tømning av bassenget, og derved kanskje mindre akkumulering av slam og organisk materiale på bunnen i det dypeste partiet.

Dersom det er stillestående vann i det dypeste partiet som er problemet, kan bedre utskiftning av det dypeste partiet også oppnås ved å tvinge vannstrømmen til å gå via dette volumet i deler av en vanlig utskiftningsperiode. Det kan gjøres ved å anlegge overgangen mellom kanalen eller forbindelsesrøret som en slags sluse, med en vegg som har åpning nede ved største dyp, slik at vannet tildels tvinges til å strømme ut langs bunnen. Det gjør det mulig å få god utskiftning av det dypeste partiet selv om en vil opprettholde vannstand omkring middelvann som i dag. Løsningen er skissert i figur 6.



Figur 6. Skisse av mulig løsning for å sikre utskiftning av de dypere partiene.

Det dypeste partiet må da eventuelt graves ut slik at det er fri forbindelse til denne åpningen, iallfall med en kanal på anslagsvis 5 meters bredde. Veggene bør være en del lavere enn minste høyvannstand, slik at det også i deler av perioden strømmer vann inn og ut på toppen, hvis ikke vil det samle seg flyttestoffer i overflaten. For å få god vannutskiftning av det dypeste partiet, bør de volumene  $V_i$ ;  $i=1, \dots, 4$  som er angitt på skissen være slik at  $V_4+V_3$  er mye mindre enn  $V_2$ . Et forholdstall på 1:5 eller lavere bør være tilstrekkelig.



Et alternativ er å lage en vegg med åpning i hele høyden, men i begrenset bredde og en åpning i større bredde ved bunnen, slik at en kan ha noe utstrøm i overflaten under hele utstrømningsperioden, men med det meste av utstrømningen under veggen i siste del av utstrømningsperioden.

I alle tilfelle må strømtverrsnittet være tilstrekkelig stort, slik at det ikke begrenser strømmen i særlig grad i tillegg til den begrensning en har i forbindelse med selve kanalen eller røret. Hva som er nødvendig her, bør beregnes ved simuleringer hvor de forskjellige tap ses i sammenheng; det må eventuelt bli gjenstand for en ny vurdering. Av sikkerhetshensyn bør det være så stort strømningsstverrsnitt at hastighetene ikke blir så store gjennom den dykkede åpningen at den får en sugende effekt, selv ved delvis gjentetting.

Sluseløsningen som er skissert ovenfor vil kunne bedre forholdene i de dypeste partiene, men ifølge opplysningene er det delvis et problem med mudder på bunnen over hele bassenget og da kreves det periodisk opprydding.

### **5.5 Kan en tenke seg fysiske tiltak for å fjerne bunnslam?**

For å rense bunnen kan en prøve ut tiltak hvor en med mellomrom forstyrrer bunnen i en utstrømningsperiode, slik at sand og grus sedimenterer igjen inne i bassenget, mens det fine slammet, og spesielt det organiske materialet, som vil holdes svevende i vannfasen noe lenger, fraktes ut av bassenget. Akkurat hvordan en skal oppnå dette, må i tilfelle prøves ut i praksis, det kan tenkes rent fysisk forstyrrelse av bunnen, bruk av pumper eller slamsuger med utblåsning mot bunnen.

Dersom en gjennomfører tiltak som skissert, bør det være mulig å oppnå vesentlig bedre forhold enn idag, men det vil altså kreve en viss driftsinnsats, og det er vanskelig å kvantifisere virkningen på bakgrunn av de opplysninger vi har tilgang til.

### **5.6 Vil det kunne oppstå begroing av alger i kanalen slik at vannutskiftningen reduseres?**

Begroing kan begrense vannutskiftningen både i en åpen kanal og i et rør. Eventuell begroing av alger i et lukket rør vil være begrenset p.g.a. lysforholdene og mest forekomme ved endene av røret, men særlig begroing i den høyest liggende enden av røret vil kunne virke begrensende på utstrømningen og derved på vannutskiftningen. For en kanal vil det kunne bli begroing i hele lengden, men antagelig begrenset av periodisk gjennomstrømning med forholdsvis høy hastighet. I begge tilfelle må en være forberedt på et visst vedlikehold i form av opprensing.

## 6. Litteratur

Engelund, F.A. (1969) Lærebog i hydraulik. Den private Ingeniørfond, Danmarks Tekniske Højskole.

Liseth, P.; Kolstad, S. og Ravdal, E. (1973): Resipientvurderinger for Molde kommune. NIVA-rapport lnr. 0482, O-31/71.

Molvær, J. (1993): Innlagring og fortykning av avløpsvann fra RA1 og RA2, Molde kommune. NIVA-rapport lnr. 2895.

Nilsen, J. og Bang, C. (1987): Resipientundersøkelse av Molde/Fannefjorden. NIVA-rapport lnr. 2032.