



# UTSKIFTING AV BASSENGVATN I DJUPE TERSKELFJORDAR

Ingrid Askeland Johnsen, Vivian Husa, Pia Kupka Hansen og Frode Vikebø (HI)

RAPPORT FRA  
HAVFORSKNINGEN  
NR. 2021-43

**Tittel (norsk og engelsk):**

Utskifting av bassengvatn i djupe terskelfjordar

Exchange of basin water in Norwegian deep sill fjords

**Rapportserie:**

Rapport fra havforskningen

ISSN:1893-4536

**År - Nr.:**

2021-43

**Dato:**

21.12.2021

**Forfatter(e):**

Ingrid Askeland Johnsen, Vivian Husa, Pia Kupka Hansen og Frode Vikebø (HI)

Godkjent av: Forskningsdirektør(er): Geir Lasse Taranger

Programleder(e): Frode Vikebø

**Distribusjon:**

Åpen

**Prosjektnr:**

15563

**Oppdragsgiver(e):**

Fiskeridirektoratet

**Program:**

Marine prosesser og menneskelig påvirkning

**Forskningsgruppe(r):**

Oseanografi og klima

Bentiske ressurser og prosesser

**Antall sider:**

26

**Sammendrag (norsk):**

Med sikte på å kartlegge tidsperioden mellom vassutvekslingsepisodar i terskelfjordar, er det i denne rapporten bruka et analytisk modelloppsett basert på dei observerte vassmassane langs kysten. Metoden som vurderinga er basert på er generisk, og utfører ei systematisk vurdering basert på informasjon om batymetri, tidevatn og hydrografiske forhold i vassmassane på kysten. Opphaldstida vart estimert for fjordar med en maksimal terskeldjup grunnare enn 100 m og et bassengdjup djupare enn 100 m. Den estimerte utskiftinga var vurdert for to periodar: 1960 - 1990 og 1990 - 2020. For mange fjordar vart vatnet skifta ut sjeldnare i den siste perioden.

**Sammendrag (engelsk):**

With the aim of mapping the time period between water exchange episodes in sill fjords, we have used an analytical model set-up based on the observed water masses along the coast. The framework on which the assessment is based is generic, and carries out systematic assessment where bathymetry, tides and hydrographic conditions in the water masses outside the fjord have been taken into account. The residence time was estimated for fjords with a maximum sill depth shallower than 100m and a basin depth deeper than 100 m. The estimate was divided into two periods: 1960 - 1990 and 1990 - 2020. For many fjords, the replacement occurred less frequently in the last period.

# Innhold

<b>1</b>	<b>Introduksjon</b>	5
<b>2</b>	<b>Metode</b>	6
2.1	Kyststasjonane	6
2.2	Blanding i fjordbassenga	7
<b>3</b>	<b>Resultat</b>	9
<b>4</b>	<b>Diskusjon</b>	24

# 1 - Introduksjon

I ei bestilling frå Fiskeridirektoratet (Fdir) vart Havforskningsinstituttet (HI) bedt om å opparbeide ei oversikt over terskelfjordar som har sjeldan utskifting av bassengvatnet. Nylege studier har vist sjeldnare utskifting av bassengvatnet i terskel-fjordar (Aksnes m.fl., 2019, Darelius 2020). Sjeldnare utskifting av bassengvatn påverker fjorden si egnethet for oppdrett, og Fiskeridirektoratet og Mljødirektoratet har saman igangsatt innsats for å klargjera kva undersøkelser som må gjennomførast og dokumenterast for å vurdere søknadar om oppdrettslokalitetar.

Det finnes per i dag ikkje noko strukturert datasett, som dekker alle terskelfjordar og som kan peike ut område med potensielle stagnante vassmassar og sjeldan djupvassutskifting. HI valte difor å svare på bestillinga ved å bruke eit analytisk modelloppsett som baserer seg på dei observerte vassmassar langs kysten. For å berekne utskiftinga av bassengvatnet i terskelfjordar har vi tatt utgangspunkt i tilnærminga frå Aure og Stigebrandt (1989) og Stigebrandt (2001). Me har vidareutvikla denne metoden ved å berekne fjord-karakteristikk (bassengvolum, areal på fjordmunning osv.) frå eit 50 m x 50 m oppløyst kart over fjord-topografien, samt at me har berekna utviklinga i vassmassanes karakteristikk over tid og bruka tidsseriar frå dei hydrografiske forholda langs kysten til å gjere ei vurdering.

Spesifikt tar denne rapporten sikte på å svare opp følgande deler av bestillinga «*Identifiserer risikoområder/resipienter som vil kunne få, eller har, redusert evne til å omsette tilførte næringsalter og organisk materiale, og som vil ha suboptimale oksygenverdier i hele eller deler av vannsøylen.*».

Vidare er det i bestillinga spesifisert «*Erfaring fra miljøovervåking av fjordsystemer langs kysten, viser at vannutskiftingen skjer seinere og sjeldnere enn det som har vært antatt tidligere, noe som igjen medfører at enkelte resipienter får en redusert bæreevne og at produksjonsbetingelsene for aktører lokalisert i slike områder kan endres.*». For å gjere en vurdering av om utskiftinga er endra over tid, har me gjennomført ei vurdering for perioden 1960-1990 og for 1990-2020. Ved å gjere to vurderingar i to ulike tidsperiodar har me identifisert område som er vurdert til å ha sjeldnare utskifting over tid.

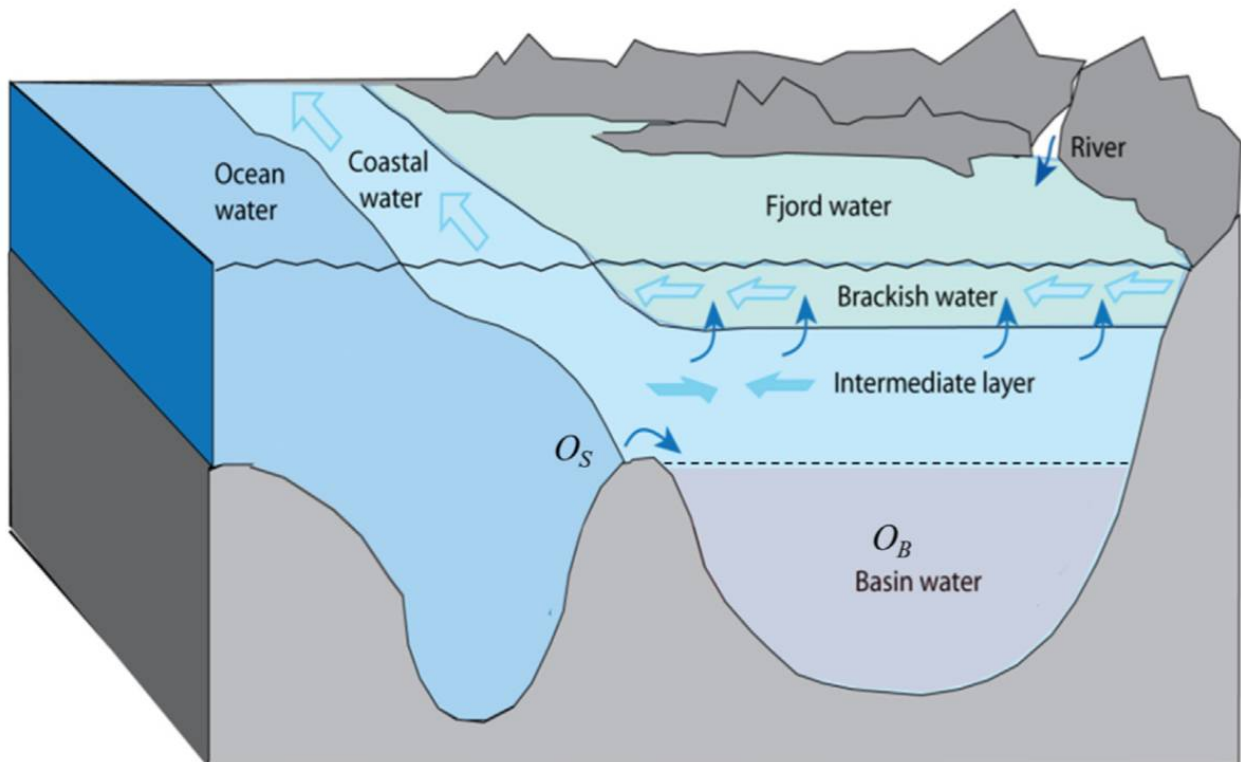
Då metoden for bassengutskifting frå Stigebrand og Aure (1989) er utvikla for djupe terskelfjordar har me i denne rapporten vurdert terskelfjordar med terskel grunnare enn 100 m og bassengdjup djupare enn 100 m. Det er kjend at det er avgrensa sirkulasjon i fleire fjordar med grunnare bassengdjup, fleire av desse lokalisert langs Sørlandskysten. Desse fjordane (med bassengdjup mindre enn 100 m) vil ikkje vera plukka opp i denne rapporten. Fjordar med naturleg lavt oksygeninnhald med djup <100m er kartlagt basert på Skreslet 2004 og lagt inn som kartlag i Naturbase (Miljødirektoratet) og Yggdrasil (Fiskeridirektoratet).

Vidare er metoden i denne rapporten laga for ein forenkla fjord med ein opning, fjordar med fleire opningar er her inkludert i vurderinga, men modellen synes å vurdere utskiftinga med lågare frekvens enn observasjonar tilseier. Resultata er knytt til større usikkerhet i desse fjordområda.

I tillegg vil det i lange fjordar ofte med fleire basseng innover, være ei forseinking i sirkulasjonen frå kysten og innover i fjordane. Det er difor forventa at dei inste fjordbassenga i Hardangerfjorden, Sognefjorden og Nordfjord vil ha sjeldnare utskifting enn det kjem fram frå vurderinga her. Det er observert sjeldan utskifting i indre del av Nordfjord (v Utvik), og indre del av Oslofjord (Bunnefjorden), noko som ikkje vert fanga opp med denne modellen (Sælen 1967, Magnusson mfl. 2001). Etter alt sannsyn er det framleis sjeldan utskifting her.

## 2 - Metode

I fjordar med teskel hindrer terskelen utveksling mellom bassengvatnet i fjorden og vatnet utafor på kysten (Figur 1 frå Aksnes m.fl., 2019). Vatnet på kysten kan kun trenge inn i fjordbassenget når vatn med høgare tettleik enn bassengvatnet vert løfta opp og over terskelen. Ei utskifting er difor avhengig av tettleiken av vatnet på kysten og blandinga av bassengvatnet med det lettare vatnet over. For å berekne utskiftinga av bassengvatnet i terskelfjordar har vi tatt utgangspunkt i berekningane frå Aure og Stigebrandt (1989) og Stigebrandt (2001).



Figur 1: Skisse over vassmassene i en fjord, fra Aksnes m.fl., 2019

For å avgrensa arbeidet til fjordar der utskiftinga av bassengvatnet sjeldan førekjem, og ekskludere fordjupingar i botnen i opne havområde, har vi kartlagt områder med terskel  $< 100$  m og bassengdjup  $> 100$  m. Batymetri er kartlagt av kartverket, og er henta frå <http://www.norgedigitalt.no>, og interpolert til eit regulært UTM-gitter på  $50 \times 50$  m.

Det er vist at vatnet over terskeldjup i fjordane responderer raskt til forholda i det utanforliggjande havet (Asplin et al., 2014). Vi har antatt at observasjonane frå kyststasjonane representerer vassmassane utanfor fjordterskelen tilgjengeleg for eventuell utskifting. Me har antatt at vatnet i fjordbassenget vert skifta ut kvar gong tettleik på vatnet ved terskeldjup på kysten overskrid tettleik på vatnet i fjordbassenget. Mellom utskiftingsepisodane vert bassengvatnet gradvis blanda med det lettare vatnet over. Blandinga i fjorden er berekna frå tidevatn, den topografiske utforminga til fjorden, og lagdelinga over og under terskel i fjorden.

### 2.1 - Kyststasjonane

For å vurdere dei hydrografiske forholda på kysten har me brukt data frå kyststasjonane til HI

(<http://www.imr.no/forskning/forskningsdata/stasjoner/view?station=>). Observasjonane strekk seg tilbake til 1940-talet, og er tatt ca. kvar 14. dag på 1, 5, 10, 20, 30, 50, 75 og 100 m djup. På 1990-talet starta ein å ta observasjonar på fleire djup, og tidsavgrensinga er difor litt ulik for ulike djup og stasjonar. For å undersøkje utviklinga over tid har me vurdert gjennomsnittleg tid mellom utskiftingsepisodane for periodane 1960 – 1990 og 1990 – 2020. For å minimere eventuell påverknad frå observasjonstidspunkt er observasjonsserien interpolert lineært til regulær oppløysing i tid; til kvar 14. dag ved å bruke python-pakka `scipy.interpolate.griddata`.

For å karakterisera vatnet som i modellen er tilgjengeleg for utskifting av fjordbassenget har me valt å bruke observasjonar frå det djupet på kyststasjonane som ligg nærast terskeldjup.

## 2.2 - Blanding i fjordbassenga

Blandinga i fjordbassenget er berekna i tråd med Aure og Stigebrandt (1989) og tettleika av vatnet i fjordbassenget er antatt å minke i takt med arbeidet som verker på fjorden som gitt i likning 1:

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{-C_W W}{g H_b^2} \quad \text{likning 1}$$

Her er  $\rho$  vatnets tettleik,  $C_W = 2.0$  ein empirisk konstant,  $W$  er det totale arbeidet som virker på fjorden,  $g = 9.81 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  gravitasjonskonstanten og  $H_b$  er midlare bassengdjup.

I våre berekningar har vi antatt at arbeidet som verker på blandinga ( $W$ ) er den kombinerte effekten av ei bakgrunnsblanding ( $W_0$ ) samt blanding frå tidevatn ( $W_T$ ). Bakgrunnsblandinga har vi berekna etter likning 2:

$$W_0 = 10^{0.2 + \log A_f - 2} \quad \text{likning 2}$$

Der  $A_f$  er arealet på fjordoverflata i  $\text{km}^2$ .

Vidare er arbeidet frå tidevatnet ( $W_T$ ) berekna frå likning 3:

$$W_T = \frac{RfE}{A_t} \quad \text{likning 3}$$

Her er  $Rf$  Richardsons flux nummer,  $E$  er energien tilført fjorden frå tidevatnet og  $A_t$  er arealet på den horisontale flata i fjorden ved terskeldjupet.

Fjordar er definert som jet-fjordar der Froude-tallet  $> 1$  og bølge-fjordar dersom Froude-tallet  $< 1$  (Stigebrandt, 1976). I fjordar med høgt Froude-tall (jet-fjordar) er innstrauminga av vatn til fjorden rask i forhold til åpninga vatnet kan trenge gjennom, og straumen er meir turbulent enn for fjordar med lavt Froude-tall (bølge-fjordar). Dermed bidreg ein større del av den tilførte energien til å blande vatnet i jet-fjordar i førehald til i bølge-fjordar.

For fjordar definert som jet-fjordar er  $Rf = 0.06$  og energien berekna etter likning 4:

$$E = 0.42 \rho_0 u_{s0}^3 \frac{A_m}{4} \quad \text{likning 4}$$

Der  $\rho_0$  er en referansetettleik, her satt lik  $1025 \text{ kg m}^{-3}$  og  $A_m$  er arealet på den vertikale seksjonen av

fjordmunninga.  $u_{s0}$  er tidevasstraumen i fjordmunninga, gitt ved likning 5:

$$u_{s0} = \frac{A_f}{A_m} a_i \omega \quad \text{likning 5}$$

Her er  $a_i$  amplituden og  $\omega$  frekvensen til tidevasskonstituentane.

For bølge-fjordar er  $R_f^f = 0.01$  og energien berekna etter likning 6:

$$E = \rho_0 \omega^2 a_i^2 \frac{A_f^2}{2 A_m} \frac{H_b}{H_t + H_b} c_i \quad \text{likning 6}$$

Her er  $H_t$  lik terskeldjupet og  $c_i$  er hastigheita til indre bølger berekna etter likning 7.

$$c_i = \sqrt{g \frac{\Delta \rho}{\rho_0} \frac{H_t H_b}{H_t + H_b}} \quad \text{likning 7}$$

Der  $\Delta \rho = \rho_b - \rho_t$  er forskjellen i tettheit mellom vatnet i fjordbassenget og ved max terskeldjup på kysten.

I våre berekningar er tidevassamplituden frå M2, N2, S2 og K1 inkludert, og berekna etter resultat i NorFjords160 (Albretsen et al., 2011) ved bruk av pytide-pakken i python.

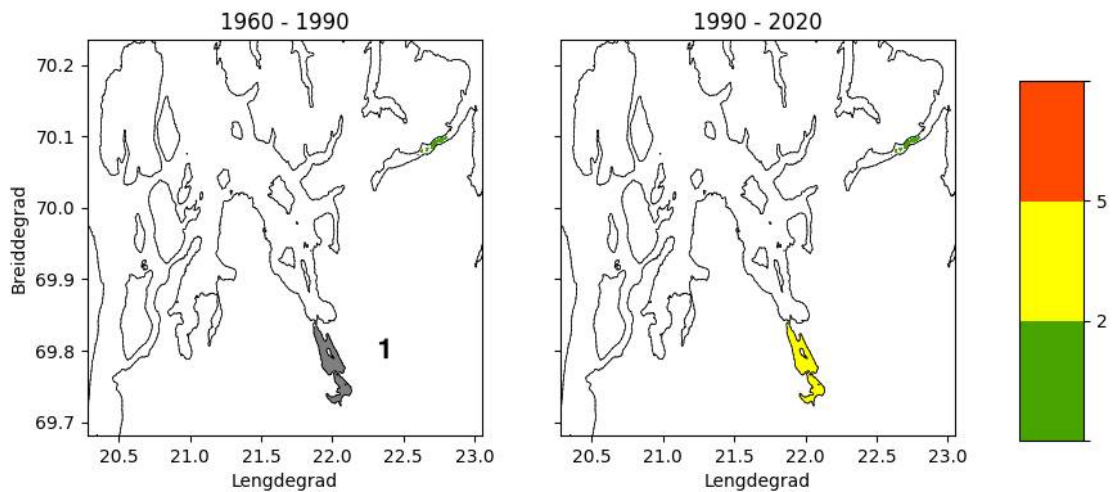


### 3 - Resultat

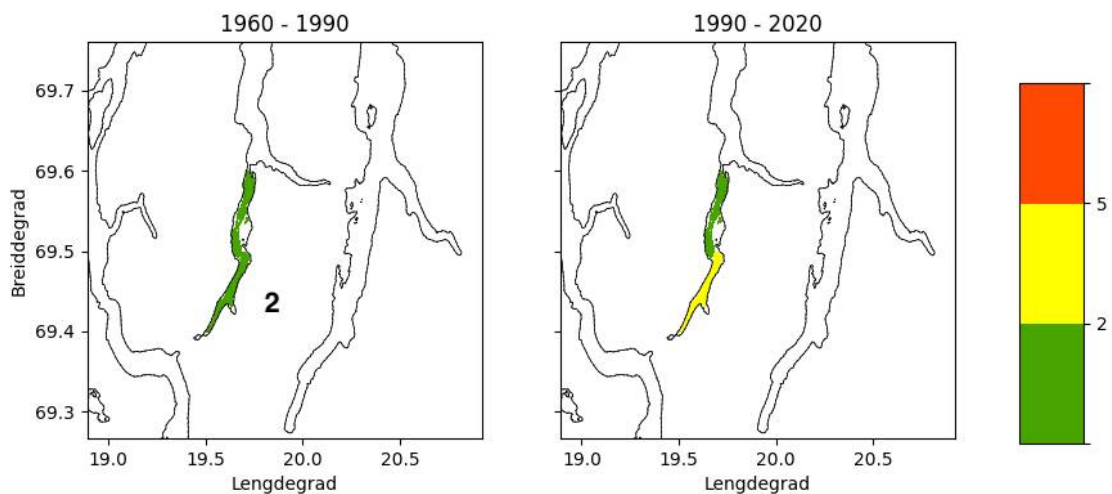
Berekna gjennomsnittleg tid mellom utskiftingsepisodar er presentert for to periodar: 1960 – 1990 og 1990 – 2020, referert til som første og andre periode. Område med berekna utskifting hyppigare enn 2 år er fargelagt med grønt, område med berekna utskifting frå og med 2 år til 5 år er fargelagt med gult og omtalt som moderat utskifting, og område med berekna utskifting kvart 5. år eller sjeldnare er fargelagt med raudt og omtala som sjeldan utskifting. I den følgjande oversikta er det fokusert på fjodar med modellert moderat eller sjeldan utskifting. Områder der det ikkje er observasjonar av kystvatnet ved terskeldjup til å gjera ei vurdering er markert med grått. Det er for dei fleste områda sjeldnare utskifting i perioden 1990-2020 samanlikna med perioden 1960-1990.

Resultata er her presentert i figurer rangert frå nord til sør.

#### Troms og Finnmark

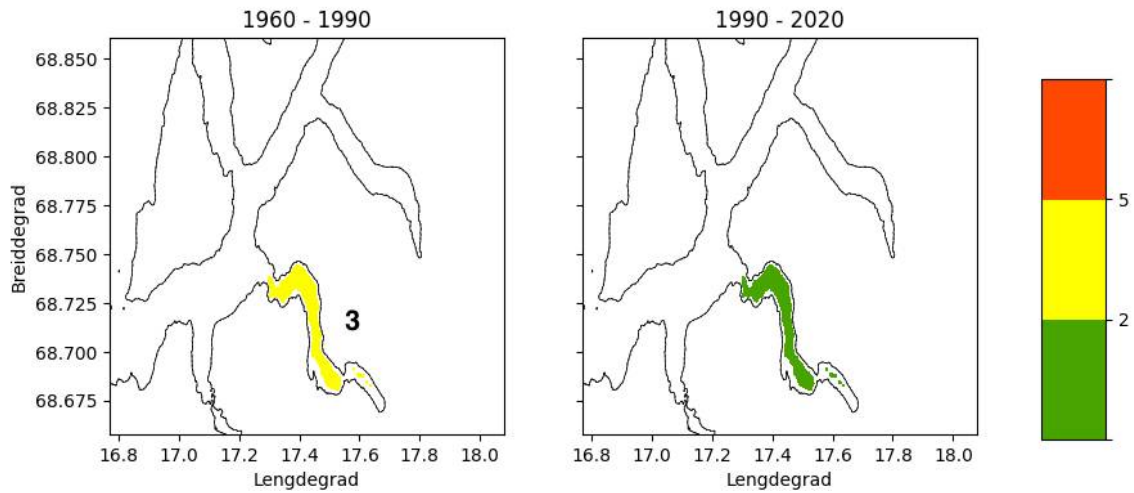


**1. Navitfjorden og Sørfjorden (Kvænangen):** Moderat utskifting andre periode, ikkje nok data til å vurdere første periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.



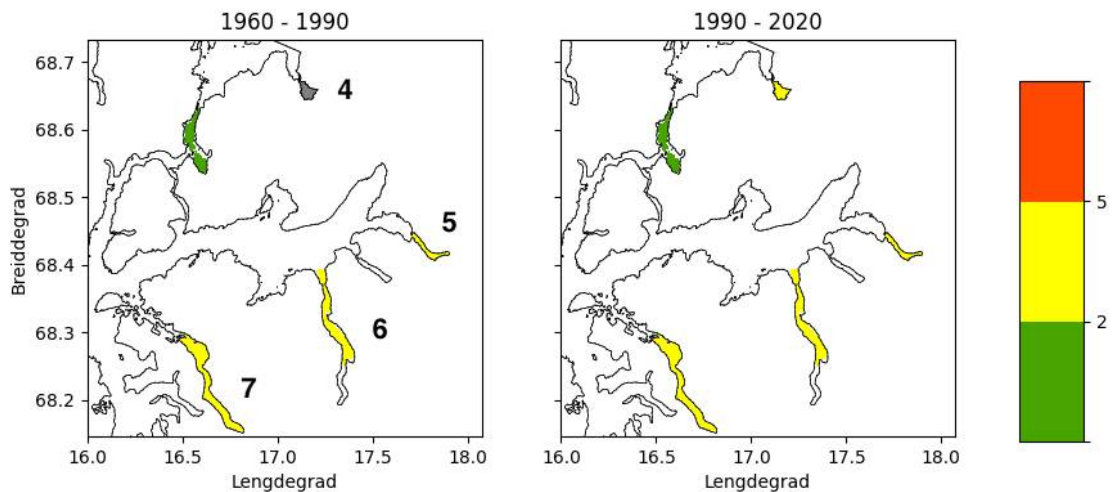
**2. Sørfjorden (indre del av Ullsfjorden) :** Hyppig utskifting i første periode, moderat utskifting av indre fjordbasseng i andre periode. Det finnes hydrografiske observasjonar som stadfester ulike vassmassar i dei tre ulike fjordbassenga i Sørfjorden, men fleire observasjonar trengs for til å bekrefte den berekna moderate

utskiftinga av vassmassane.



**3. Gratangen og Gratangsbøtne:** Moderat utskifting første periode, hyppig utskifting andre periode.

Observasjonar i tidsrommet 1976-1995 stadfester hyppig utskifting, men det har likevel vore observert lave oksygenforhold i periodar med store sildeførekomstar (Aure mfl., 1997).



**4. Grovfjord :** Ikkje kategorisert første periode, moderat utskifting andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

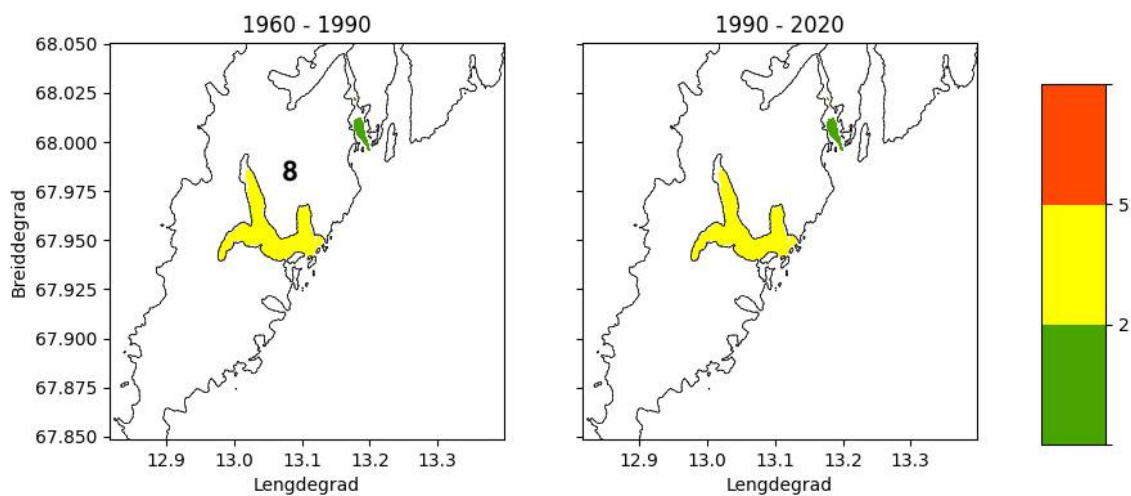
## Nordland

**5. Rombak :** Moderat utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

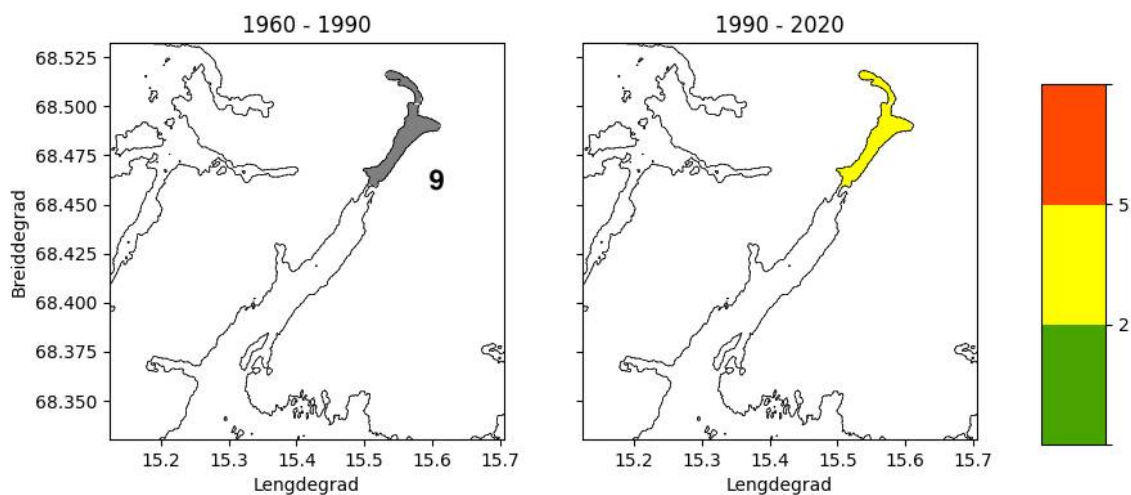
**6. Skjomen (Nordland):** Moderat utskifting begge periodar. Observasjonar i tidsrommet 1969-1973 og 1977-2001 stadfester jamleg utskifting, men lave oksygenforhold i periodar med store sildeførekomstar ( Loeng, 197x og Aure mfl., 2004). Det er usikkert om det finnes observasjonar som kan bekrefte/avkreftte modellert utskifting i seinare tid.

**7. Indre Efjord (Forsahavet) :** Moderat utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av

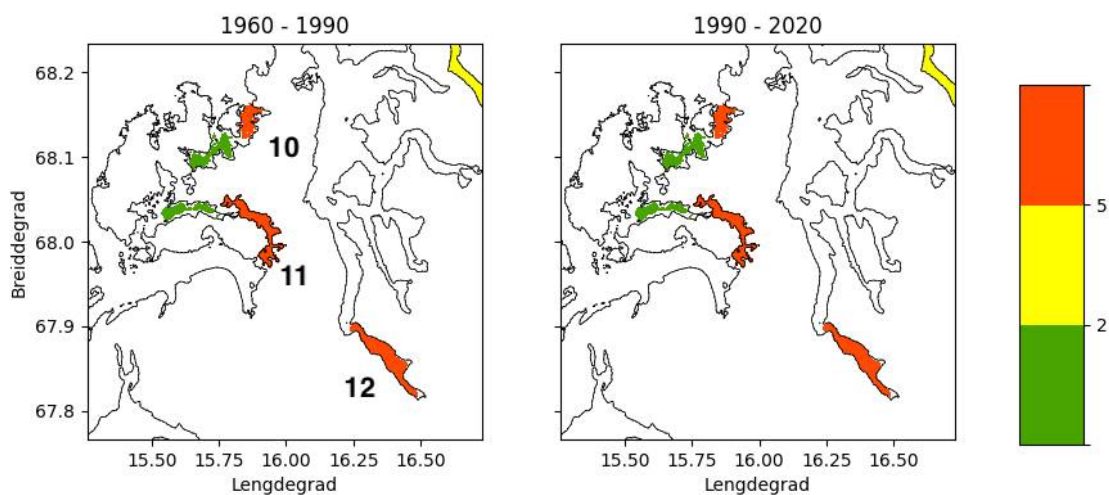
observasjonar.



**8. Reinefjorden:** Moderat utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.



**9. Innerfjorden:** Ikkje kategorisert første periode, moderat utskifting andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

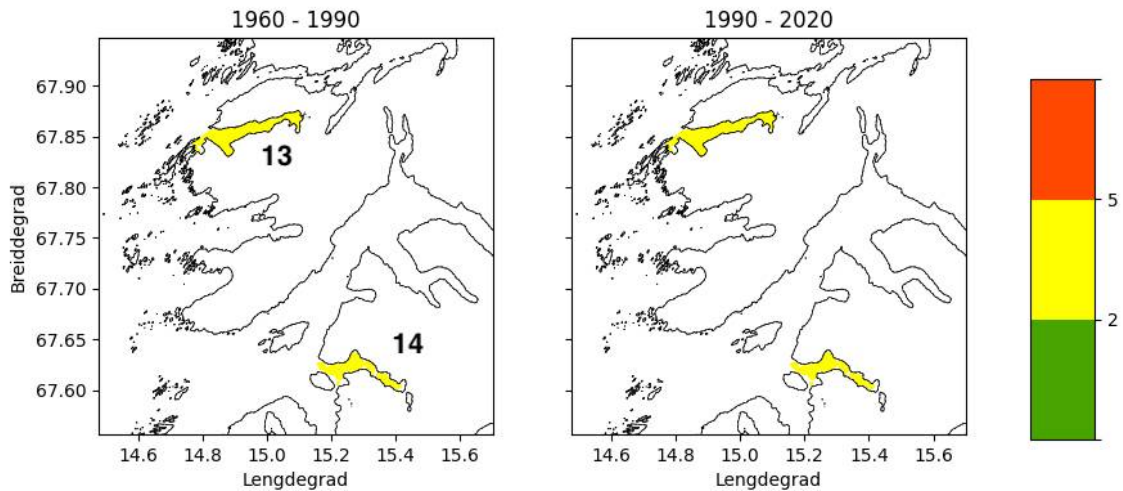


**10. Stordjupet ved Tannøya :** Sjeldan utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av

observasjonar.

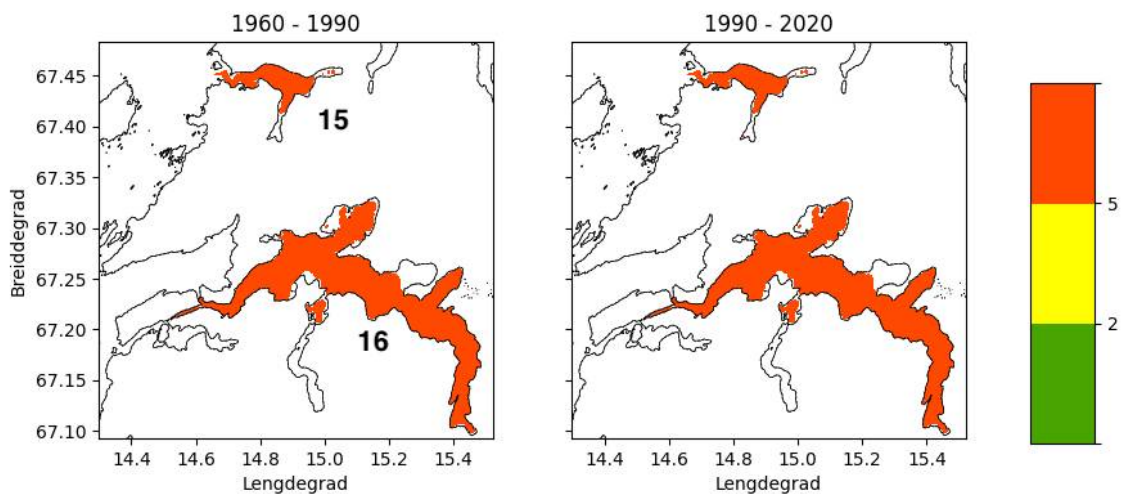
**11. Innhavet :** Sjeldan utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefta av observasjonar.

**12. Hellmofjorden:** Sjeldan utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefta av observasjonar.



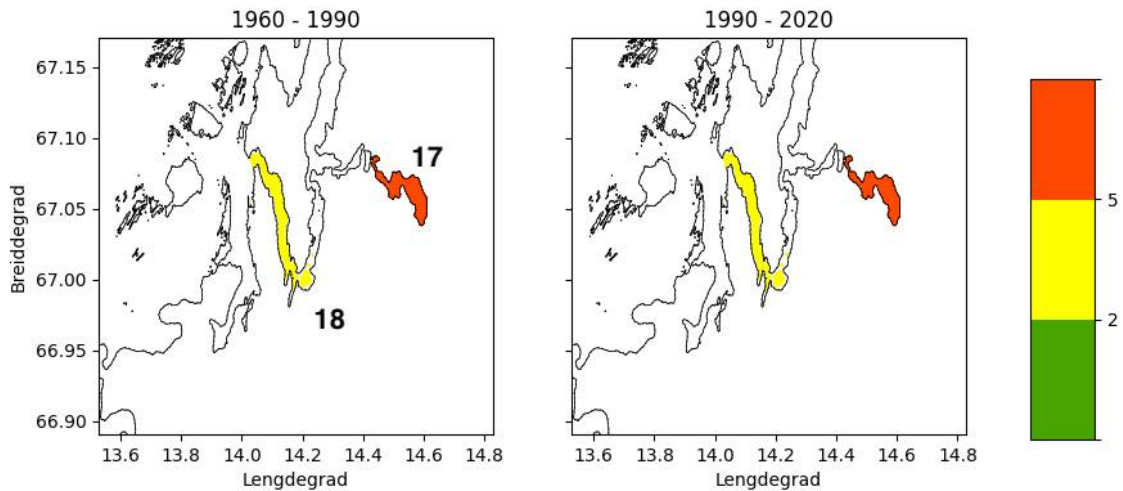
**13. Skotsfjorden og Lilandsfjorden :** Moderat utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefta av observasjonar.

**14. Sagfjorden :** Moderat utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefta av observasjonar.



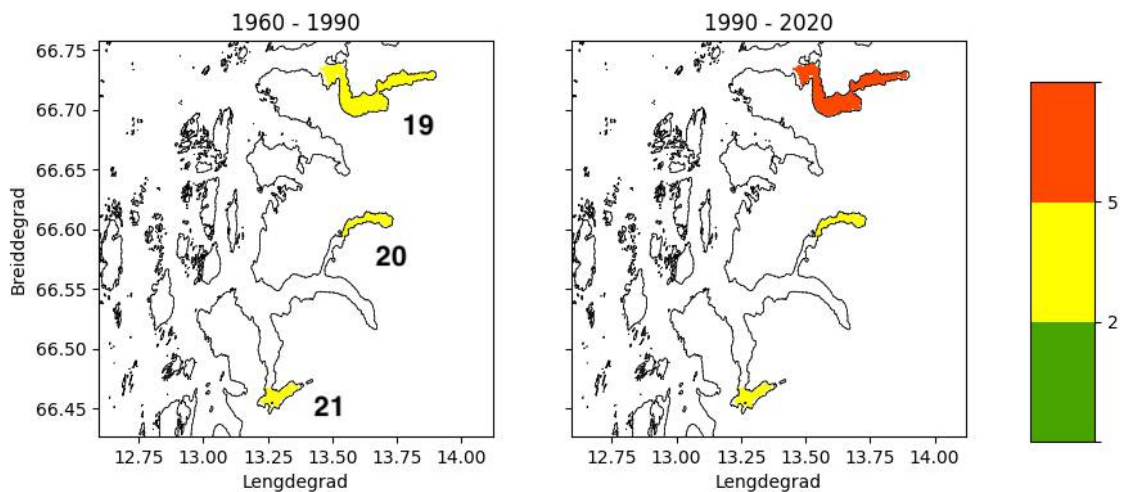
**15. Mistfjorden, Nordfjorden og Sørfjorden :** Sjeldan utskifting begge periodar. Det førekjem observasjonar som bekreftar sjeldan utskifting (Nord Universitet).

**16. Skjerstadfjorden :** Sjeldan utskifting i begge periodar. Det førekjem observasjonar som tyder på årleg utskifting (Nord Universitet; Christensen mfl., 2020).



**17. Beiarfjorden** : Sjeldan utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

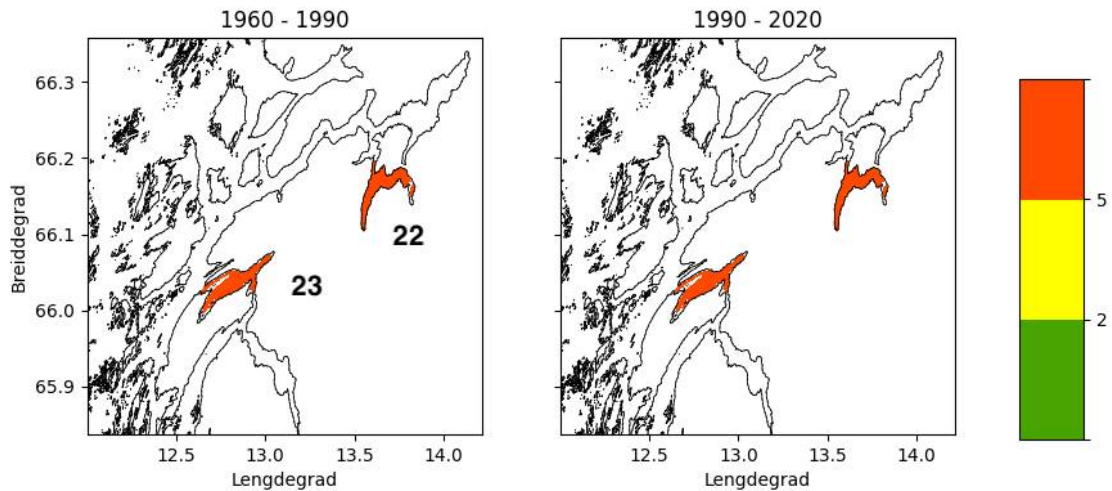
**18. Morsdalsfjorden** : Moderat utskifting i begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.



**19. Holandsfjorden og Nordfjorden** : Moderat utskifting første periode, sjeldan utskifting andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

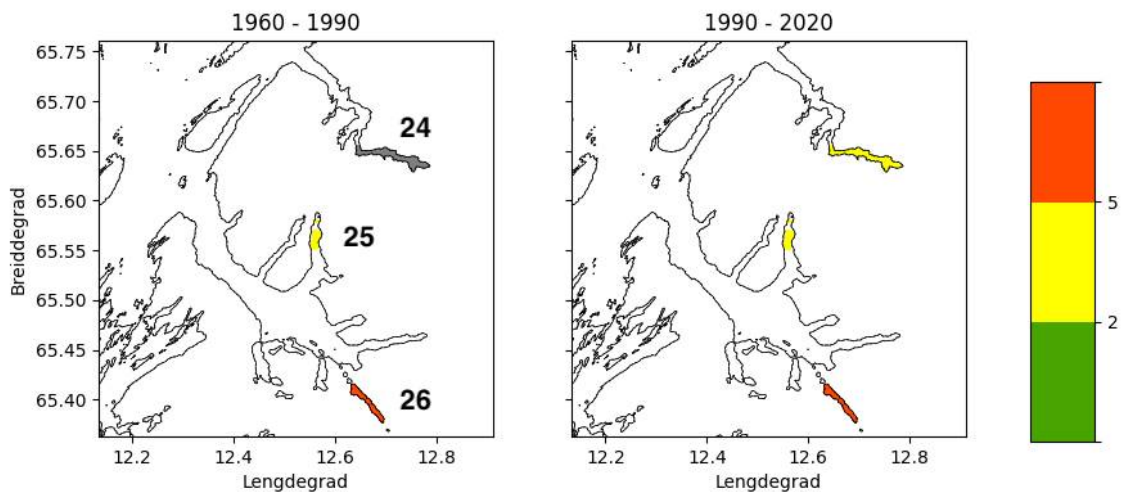
**20. Nordfjorden (Melfjorden)** : Moderat utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

**21. Gjervalen (Melfjorden)**: Moderat utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.



**22. Elsfjorden og Sørfjorden :** Sjeldan utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

**23. Leirfjorden :** Sjeldan utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

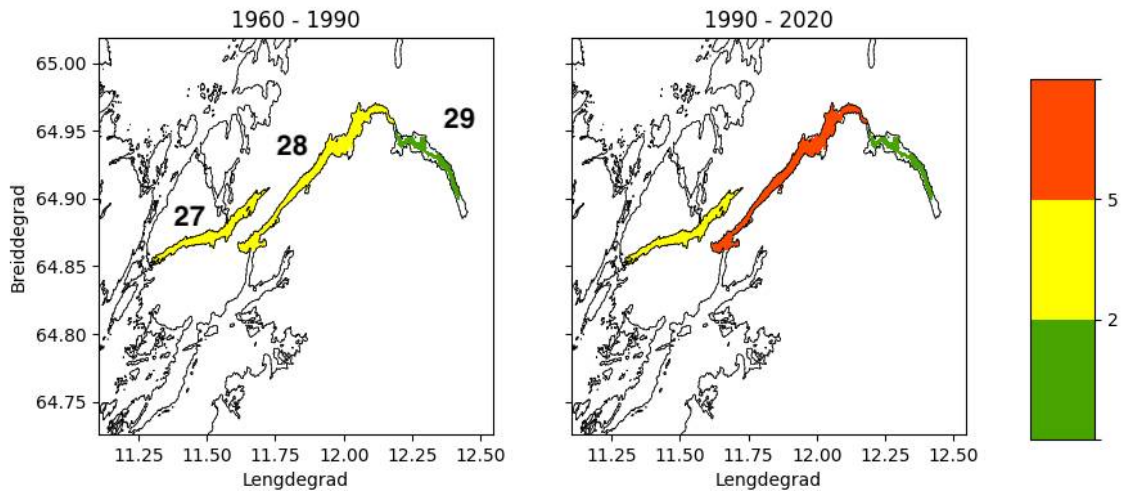


**24. Innervisten:** Ikkje kategorisert første periode, moderat utskifting andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

**25. Storfjorden:** Moderat utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

**26. Langfjorden:** Sjeldan utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

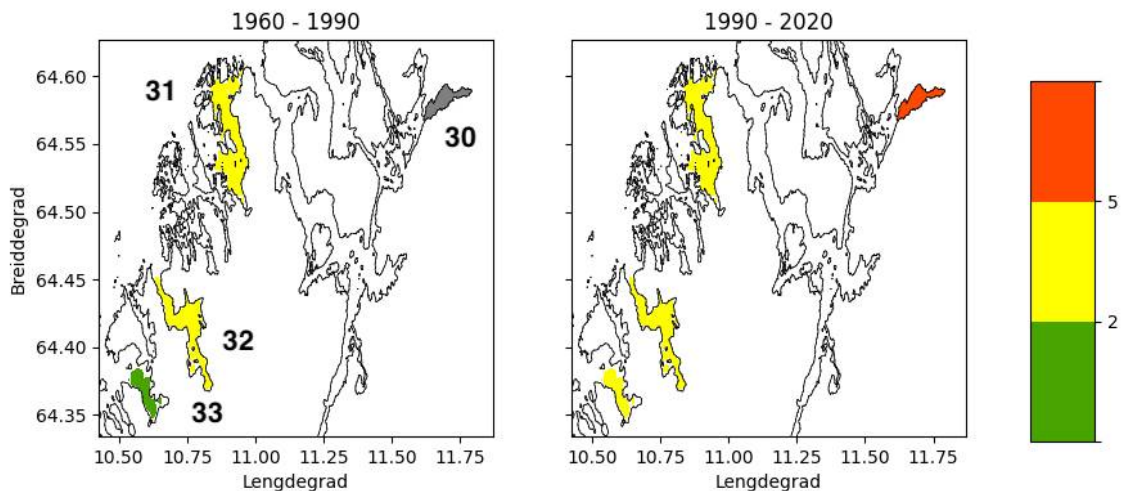
## Trøndelag



**27. Sørsalten** : Moderat utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

**28. Innerfolda** : Moderat utskifting i første periode, sjeldan utskifting andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

**29. Innerfolda (indre del)** : Hyppig utskifting begge periodar. Er sannsynlegvis sjeldnare enn modellert pga. sjeldan utskifting i bassenget utanfor og forseinking innover i basseng med fleire tersklar. Vannforekomst Innerfolda indre er definert som naturlig oksygenfattig fjord (Skreslet 2005).

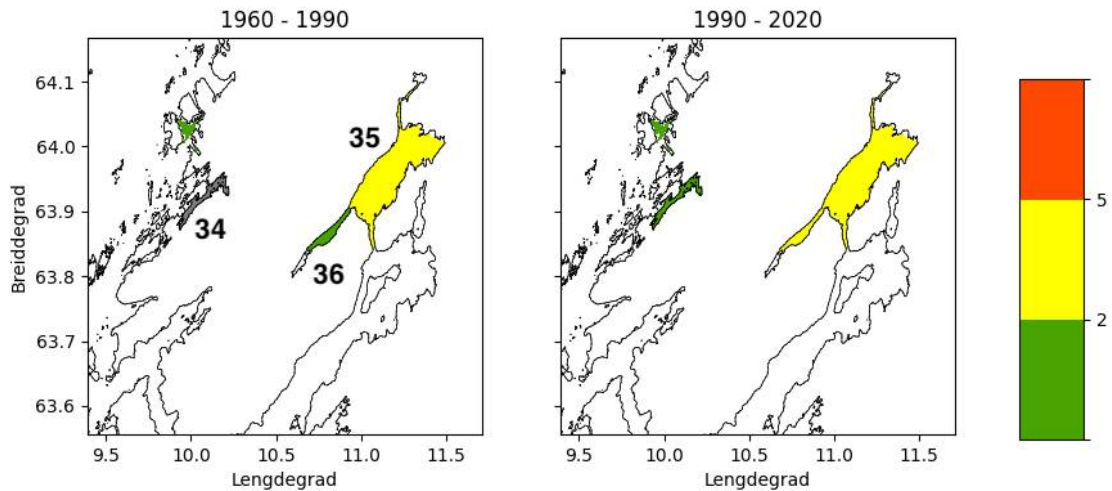


**30. Vetterhusbotn** : Ikkje data til å gje vurdering første periode, sjeldan utskifting andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

**31. Mursteinfjorden og Knottenfjorden** : Moderat utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar. Da dette er eit mindre lukka område, synes det sannsynlig at modellen bereknar sjeldnare utskifting enn reelt i dette området.

**32. Jøssundfjorden** : Moderat utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

**33. Svesfjorden** : Hyppig utskifting første periode, moderat utskifting andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

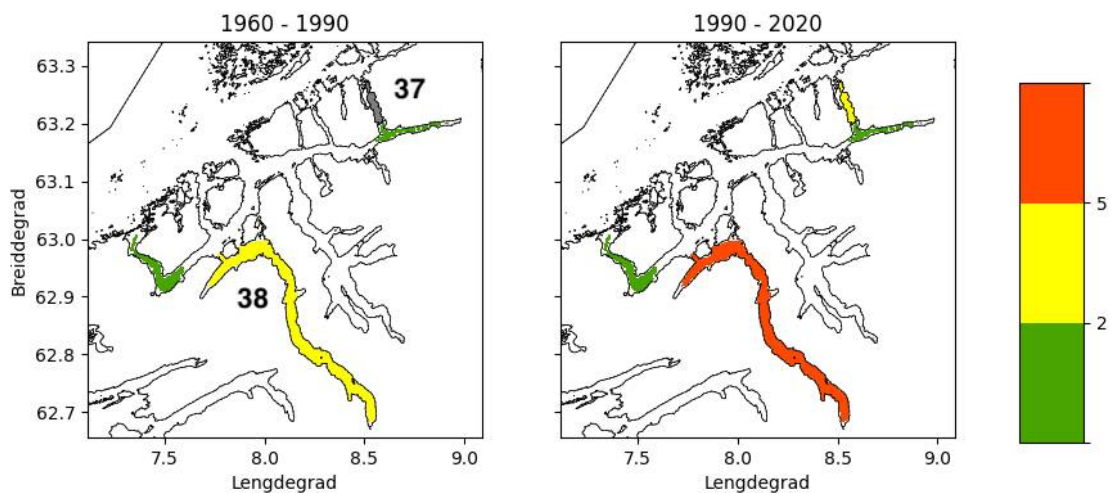


**34. Ålfjorden** : Ikkje data til å gjere vurdering første periode, hyppig utskifting andre periode. Bekrefta av observasjonar.

**35. Steinkjærfjorden** : Moderat utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefta av observasjonar.

**36. Verrasundet** : Hyppig utskifting første periode, moderat utskifting i andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefta av observasjonar.

#### Møre og Romsdal

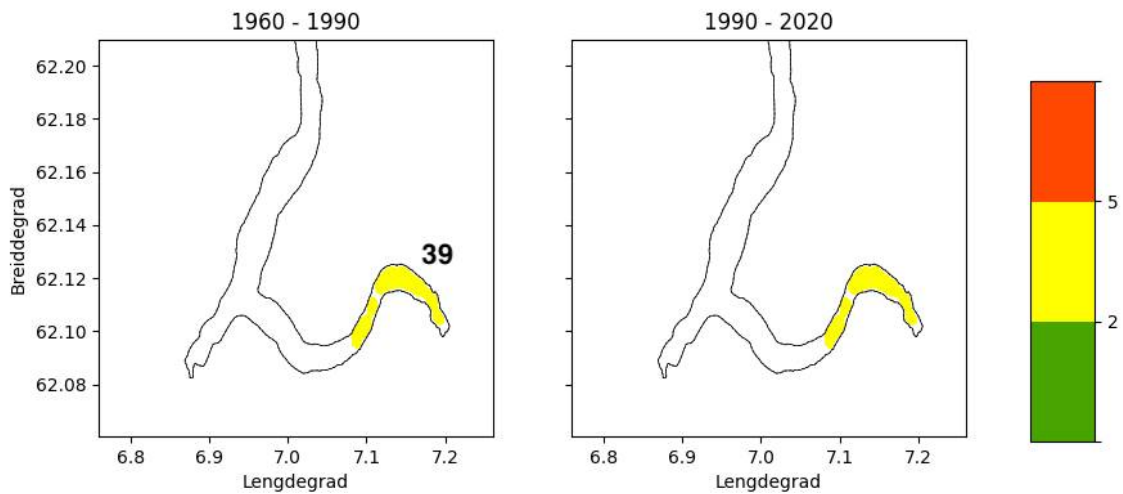


**37. Aursundet** : Ikkje data til å gje vurdering første periode, moderat utskifting andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefta av observasjonar.

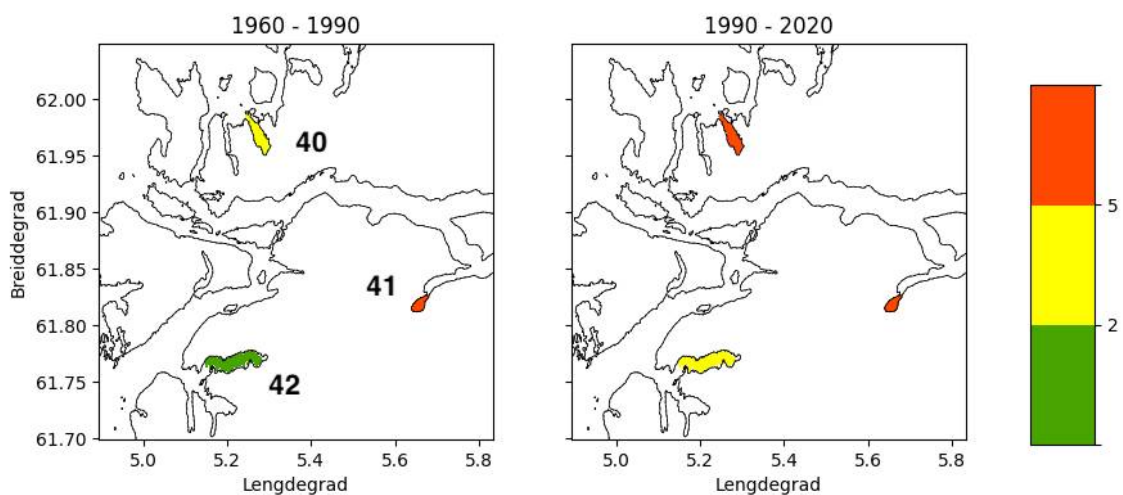
**38. Bergsøyfjorden, Batnfjorden og Tingvollsfjorden** : Moderat utskifting første periode, sjeldan utskifting andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefta av observasjonar.



## Vestland



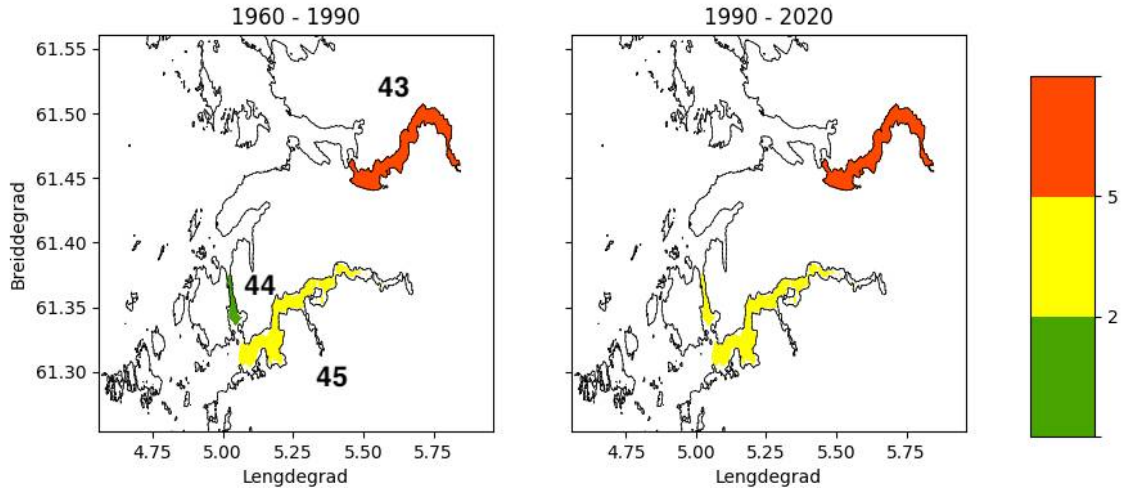
**39. Geirangerfjorden** : Moderat utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.



**40. Nordpollen** : Moderat utskifting første periode, sjeldan utskifting andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

**41. Hyefjorden** : Sjeldan utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

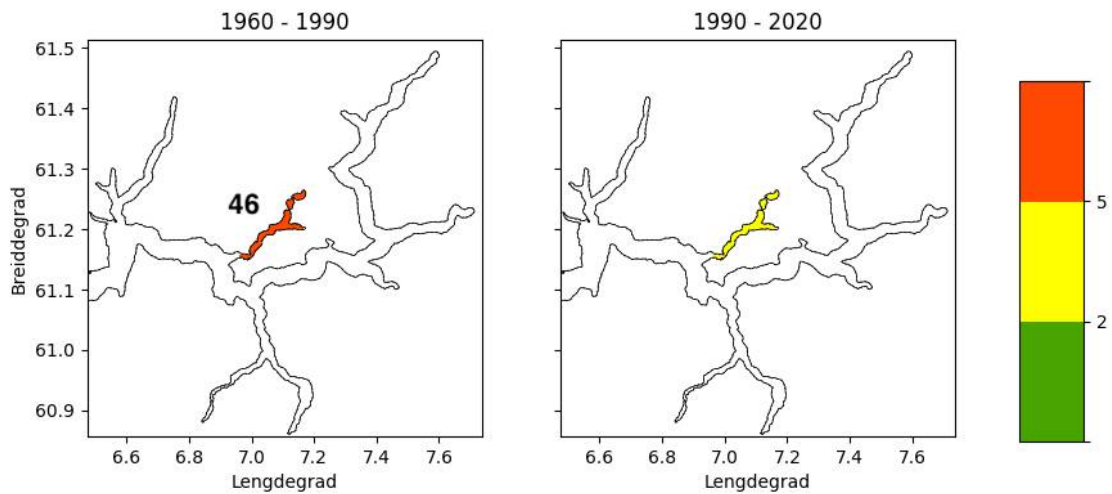
**42. Nordgulen, Svelgen**: Hyppig utskifting i første periode, moderat utskifting i siste periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.



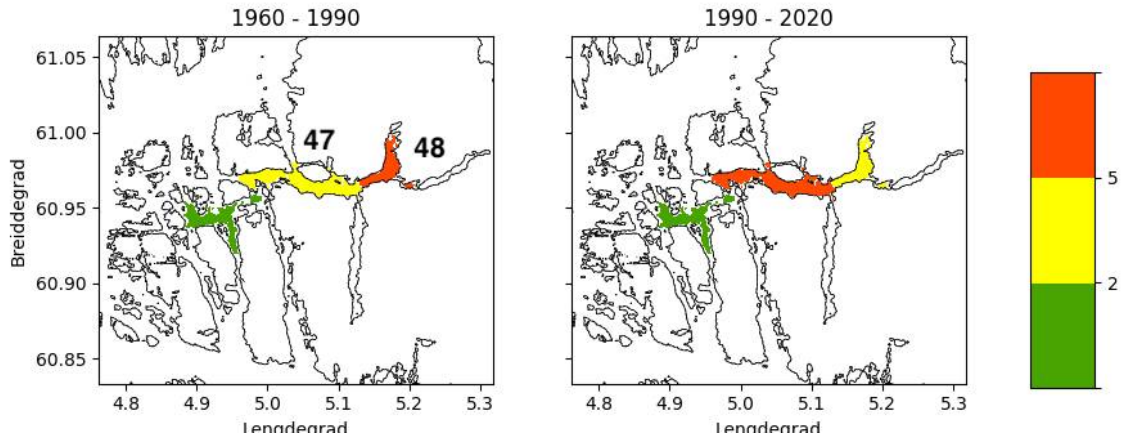
**43. Førdefjorden :** Sjeldan utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

**44. Granesundet:** Hyppyg utskifting første periode, moderat utskifting andre periode. Modellert utskifting ikkje bekrefte av observasjonar.

**45. Dalsfjorden :** Moderat utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

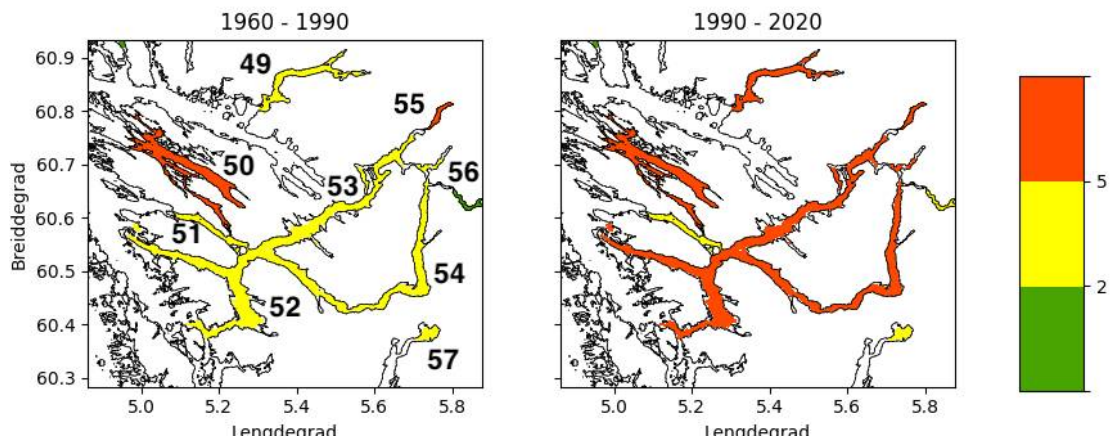


**46. Barsnesfjorden og Eidsfjorden :** Sjeldan utskifting første periode, moderat utskifting andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.



**47. Gulafjorden** : Moderat utskifting første periode, sjeldan utskifting andre periode. Det same gjeld truleg sidefjordane Austgulfjorden og Eidsfjorden som er noko grunnare og ikkje blir omfatta av modellen. Modellert utskifting er ikkje bekrefta av observasjonar.

**48. Nordgulfjorden** : Sjeldan utskifting første periode, moderat utskifting andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefta av observasjonar.



**49. Masfjorden** : Moderat utskifting første periode, sjeldan utskifting andre periode. Sjeldan og stadig sjeldnare utskifting bekrefta (Aksnes et al., 2020, Dareljus 2020).

**50. Lurefjorden** : Sjeldan utskifting begge periodar. Fjorden har fleire opningar, og modellen er mindre egna til å gjere ei vurdering her. Modellen estimerer for sjeldan utskifting her, det finnes observasjonar som tyder på meir hyppig utskifting (HI-data).

**51. Radfjorden** : Moderat utskifting begge periodar. Bekrefta av moderat lavt oksygeninnhald i vatnet er tidvis observert (Bye-Ingebrigtsen mfl., 2019)

**52. Byfjorden og Herdlefjorden** : Moderat utskifting første periode, sjeldan utskifting andre periode. Fjorden har fleire opningar, og modellen er mindre egna til å gjere ei vurdering her. Observasjonar av oksygen bekreftar redusert utskifting sidan 90-talet. (Johansen mfl., 2018)

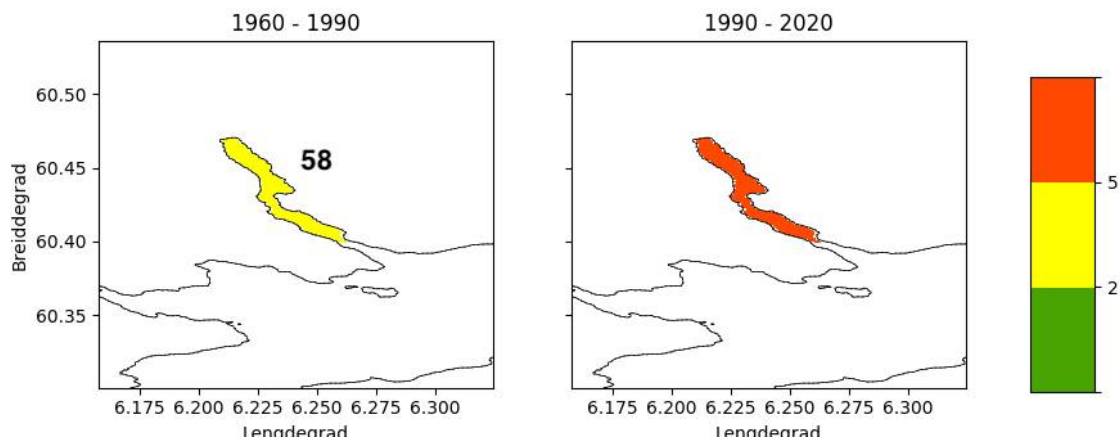
**53. Osterfjorden, Romarheimsfjorden og Sørfjorden** : Moderat utskifting første periode, sjeldan utskifting andre periode. Sjeldan utskifting er bekrefta av lave og svært lave oksygen observasjonar i djupet (Johansen mfl., 2018, Bye-Ingebrigtsen mfl., 2019).

**54. Veafjorden** : Moderat utskifting første periode, sjeldan utskifting andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

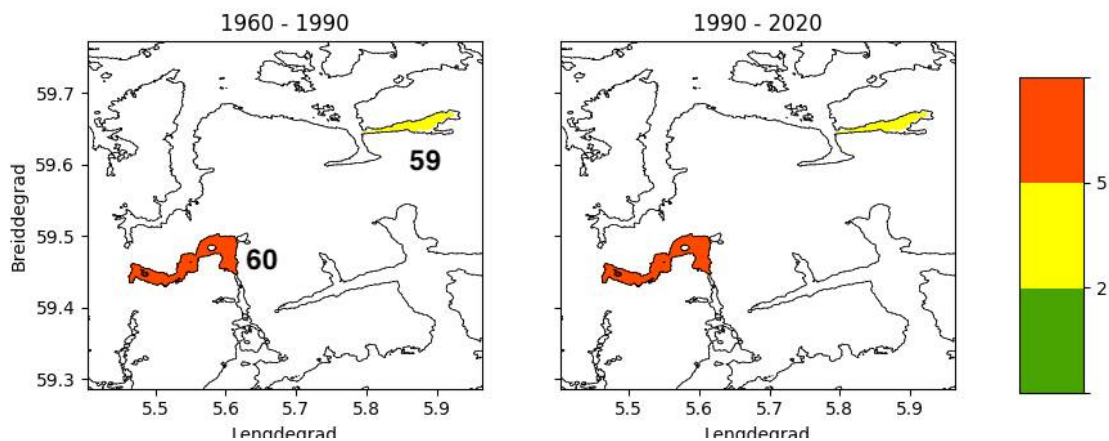
**55. Mofjorden** : Sjeldan utskifting begge periodar. Her er det observert lavt oksygeninnhald i vatnet allereie for 100 år sidan (Gaarder, 1914). Usikkert kva som finnes av nyare observasjonar for å bekrefte/avkrefte modellert utskifting.

**56. Bolstadfjorden** : Hyppig utskifting i første periode, moderat utskifting i andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

**57. Indre Samnangerfjorden** : Moderat utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.



**58. Fykkesund** : Moderat utskifting første periode, sjeldan utskifting andre periode. Dette er eit veldig smalt sund, utan veldig djupt basseng. Det synes sannsynlig med hyppigare utskifting enn modellen vurderer. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

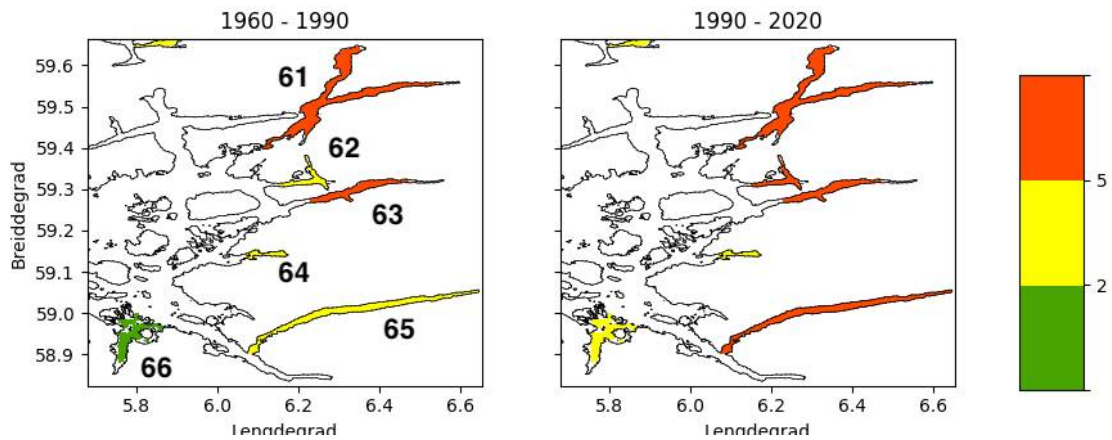


**59. Etnefjorden** : Moderat utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

## Rogaland

**60. Skjoldafjorden og Grindafjorden** : Sjeldan utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte

av observasjonar. Fjorden er i modellen heilt lukka grunna kartopløysing, noko som hindrer modellen å gjere ei vurdering.



**61. Saudafjorden , Hylsfjorden og Sandsfjorden :** Sjeldan utskifting begge periodar. Sjeldan utskifting i Sandsfjorden bekrefta av observert lavt oksygen (Olsen og Eilertsen, 2020)

**62. Erfjorden :** Moderat utskifting første periode, sjeldan utskifting andre periode. Sjeldan utskifting bekrefta av observert lavt oksygen (Kaurin mfl., 2021).

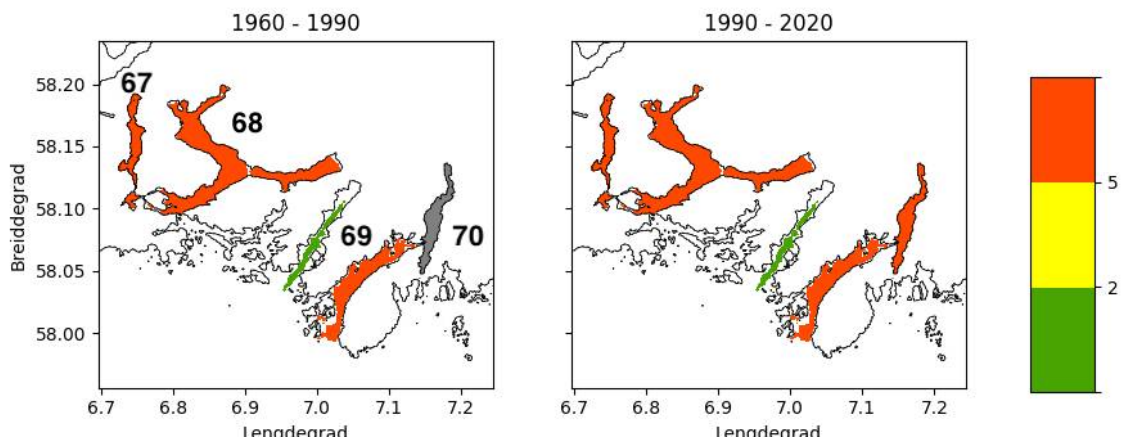
**63. Jøsenfjorden :** Sjeldan utskifting begge periodar. Sjeldan utskifting bekrefta av observert lavt oksygeninnhald (Kaurin mfl., 2021).

**64. Årdalsfjorden :** Moderat utskifting i begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefta av observasjonar.

**65. Lysefjorden :** Moderat utskifting første periode, Sjeldan utskifting andre periode. Sjeldan og sjeldnare utskifting bekrefta av observasjonar (Aure mfl. 1993).

**66. Gandsfjorden :** Hyppig utskifting første periode, moderat utskifting andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefta av observasjonar.

## Agder

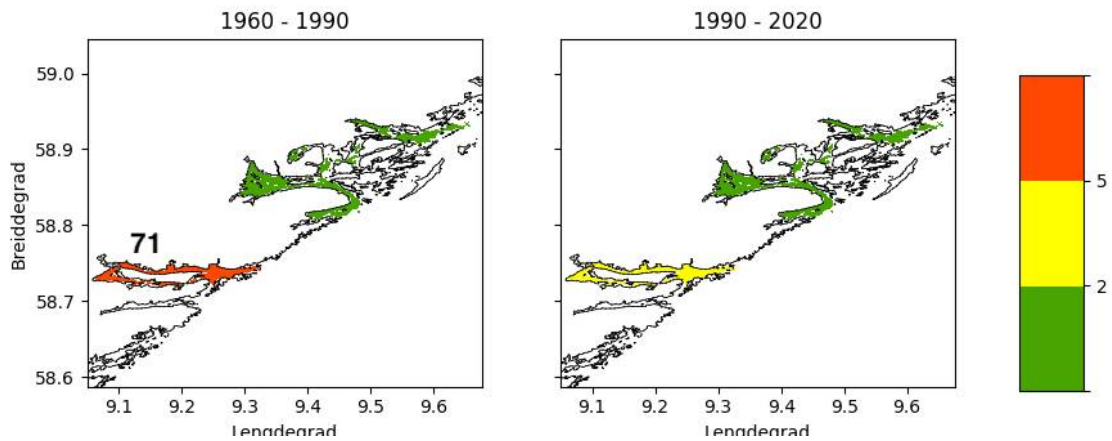


**67. Framvaren** : Sjeldan utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

**68. Åptafjorden, Drangsfjorden og Lyngdalsfjorden** : Sjeldan utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

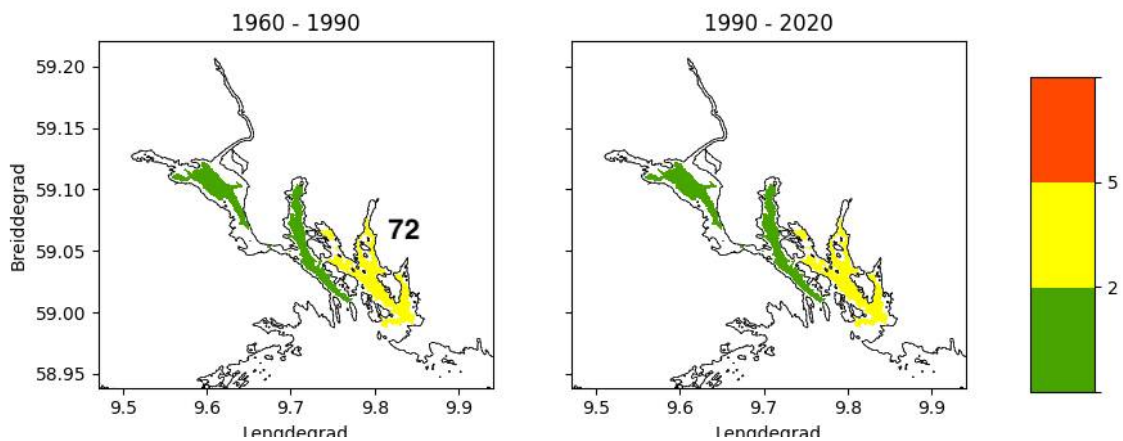
**69. Grønsfjorden** : Sjeldan utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

**70. Lenefjorden** : Ikkje data til å gje vurdering første periode, sjeldan utskifting i andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

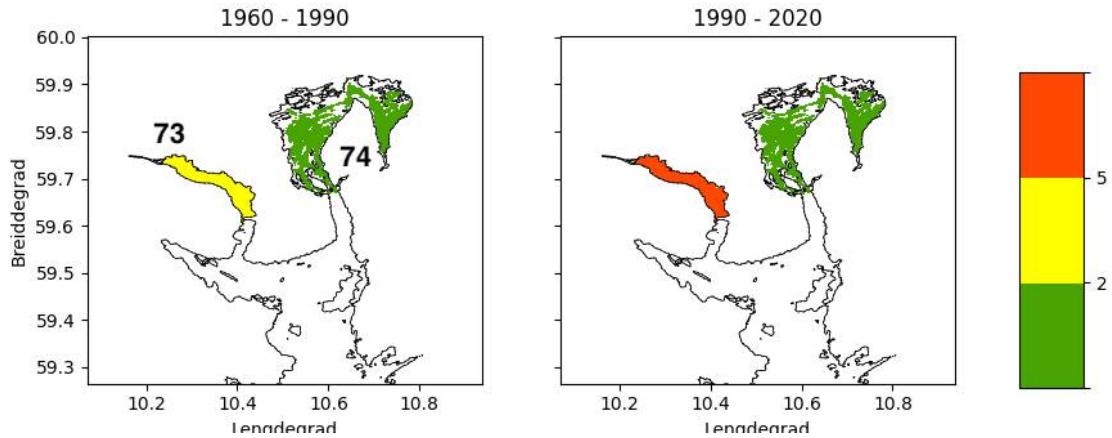


**71. Sørfjorden , Nordfjorden og Østerfjorden ved Risør**: Sjeldan utskifting første periode, moderat utskifting andre periode. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.

#### Vestfold og Telemark, Viken



**72. Langangsfjorden** : Moderat utskifting begge periodar. Modellert utskifting er ikkje bekrefte av observasjonar.



**73. Drammensfjorden** : Moderat utskifting første periode, sjeldan utskifting andre periode. Observasjonar bekreftar den sjeldne utskiftinga (Waldy mfl., 2019).

**74. Oslofjorden** : Hyppig utskifting begge periodar. Observasjonar bekreftar årleg utskifting av ytre del av Oslofjord, men viser sjeldnare utskifting av indre del av fjorden (Bunnefjorden) (Magnusson mfl., 2001).

## 4 - Diskusjon

Med det føremål å kartlegge terskelfjordar med potensielle stagnante vassmassar og sjeldan djupvassutsifting, har me bruka eit analytisk modelloppsett som baserer seg på dei observerte vassmassane langs kysten. Metoden som er nytta for vurderinga er generisk, og gjennomfører systematisk vurdering der batymetri, tidevatn og hydrografiske forhold i vassmassane utanfor fjorden er vurdert. Då tidevatnet har høgare amplitude i nord enn i sør er den modellerte blandinga nytta i denne vurderinga også større i fjordar lokalisert i nord enn i sør. I tillegg er det forventa at fjordane i nord har svakare lagdeling om vinteren, større nedkjøling ved overflata og dermed større vertikal omrøring enn det som er tatt hensyn til i denne vurderinga. Dermed er det forventa at den modellerte stagnante tida i fjordar i nord er noko overdriven. Likevel meiner me at rammeverket her peiker ut fjordar der stagnante vassmassar kan opptre.

Vidare er rammeverket laga for forenkla fjordar, men ein opning mot havet, og dermed ikkje optimalt for fjordar med fleire opningar mot andre vassmasser. Basert på nokre fjordar der det finnes gode observasjonar kan det sjå ut som om den modellerte stagnante tida og er noko overdriven i fjordar med fleire opningar mot andre vassmassar.

Fjordar med grunnare djup enn 100 meter langs kysten er ikkje tatt med i denne vurderinga, men det føreligg ei tidlegare vurdering av slike fjordar med naturleg låge oksygenverdiar basert på Skreslet 2004.

Grunna avgrensingar som nemnt over, og at kartet grunna interpolering nokon stader ikkje løyser tronge opningar opp, er det anbefalt at fjordane som modellen vurderer med moderat eller sjeldan utsifting vurderast opp mot observasjonar. Det er stor mangel på data om oksygenforhold i fjordane langs kysten og betre data frå fleire fjordar vil gi ei betre vurdering.

Det er ei trend i materialet mot sjeldnare vassutsifting i ein rekke fjordar i den siste perioden som er vurdert (1990-2020) samanlikna med den første perioden (1960-1990). Dette er ein trend som truleg kjem til å auka med predikerte klimaendringar frametter. Ved risikovurderingar av enkeltfjordar er det difor naturleg å bruka scenarioet for den siste perioden. Likevel vil me anta at alle fjordar og fjordavsnitt som er modellert til lav eller moderat vassutsifting i ein av periodane vil ha tidvis låge oksygenverdiar i djupvatnet, slik at det kan være hensiktsmessig å leggja den verste perioden til grunn for risikovurdering av enkeltfjordar.

### Referanser

Aure, J., Føyn, L., & Pettersen, R. (1993). Miljøundersøkelse i norske fjorder 1975–1973. 1. Rogaland: Lysefjorden, Høgsfjorden, Hillefjorden og Boknafjorden. Fiske og Havet, (12).

Aure, J., & Pettersen, R. (2004). Miljøundersøkelser i norske fjorder 1975-2000, 5. Nordland: Ofotfjorden, Tysfjorden, Nordfolla og Sørfolla fjordene, Glomfjorden, Ranafjorden og Vefsenfjorden.

Bye-Ingebrigtsen, E., Isaksen, T.E., Dahlgren, T.G. (2019) Marin Overvåking Hordaland – Samlerapport 2016-2018. NORCE Norwegian Research Centre AS. NORCE Miljø 2019/026. 75 + 144 s.

Christensen GN, Hammenstig D, Velvin R, Mannvik HP, Eikrem W, Hermansen S, Engesmo A, Dahl-Hansen G, Lorås GW, Bryntesen T, Tobiesen A, Kistenich S og Larsen G (2020) ØKOKYST - delprogram Norskehavet Nord II, Årsrapport 2020 Akvaplan-niva-rapport

Magnusson, J., Berge, J. A., Bjerkeng, B., Bokn, T., Gjøsæter, J., Johnsen, T., & Solli, A. (2001). Overvåking av forurensnings situasjonen i indre Oslofjord i 2000. (Fagrådsrapport nr. 85).



- Johansen, P. O., Isaksen, T. E., Bye-Ingebrigtsen, E., Haave, M., Dahlgren, T. G., Kvalø, S. E., ... & Rapp, H. T. (2018). Temporal changes in benthic macrofauna on the west coast of Norway resulting from human activities. *Marine pollution bulletin*, 128, 483-495.
- Kaurin, MM, Vidgren H, Dybvik E (2021). ØKOKYST–DP Norskehavet Sør (I). Årsrapport 2020. NIVA-rapport.
- Gaarder T (1914). De vestlandske fjorders hydrografi. I. Surstoff i fjordene. (The west Norwegian fjords. I. Oxygen in the fjords). Med.nr. 47, Bergen Museum, Biological Station
- Olsen BR og Eilertsen M (2020) Marin Overvåkning Rogaland Årsrapport 2019. Rådgivende biologer-rapport.
- Stigebrandt, A. (1976). Vertical diffusion driven by internal waves in a sill fjord. *Journal of physical oceanography*, 6(4), 486-495.
- Stigebrandt, A., & Aure, J. (1989). Vertical mixing in basin waters of fjords. *Journal of Physical Oceanography*, 19(7), 917-926.
- Stigebrandt, A (2001)- Fjordenv -a water quality model for fjords and other inshore waters. Rapport Göteborg University. ISSN 1400-383X
- Sælen, OH. (1967) Some features of the hydrography of Norwegian fjords. *Estuaries*. No 83, s63-71.
- Skreslet, Stig; Krogstad, Morten; Olsen, Ketil (2004) Enkle marine naturtyper i Nordland : bruk av data fra sjøkart til karakterisering av habitater. HBO-rapport;15/2004
- Walday, M. G., Borgersen, G., Beylich, B., Eikrem, W., Gitmark, J. K., Naustvoll, L. J., & Staalstrøm, A. (2019). Overvåking av Ytre Oslofjord i 2014-2018. 5-årsrapport. NIVA-rapport.



## HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes

5817 Bergen

Tlf: 55 23 85 00

E-post: [post@hi.no](mailto:post@hi.no)

[www.hi.no](http://www.hi.no)