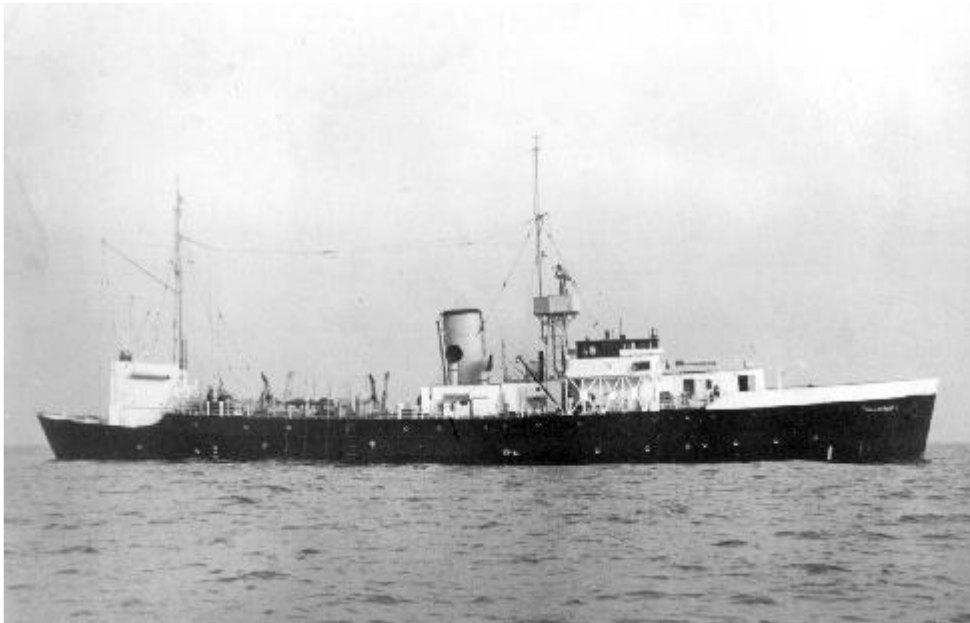


Mastergradsoppgåve i fysisk oseanografi

Vêrskipstasjonen MIKE og modellen MICOM

- ei samanlikning av observasjonar og modellresultat over 55 år -



**Norunn Kaland
Juni 2006**



**Geofysisk institutt
Universitetet i Bergen**

Abstrakt

Observasjonar frå MIKE viser ein varm og salt periode som starta i år 2000, og i 2004 vart dei høgste, observerte temperatur og salt verdiane for den atlantiske kjernen registrert her. Oppvarminga nede i djupet pågår stadig, dei siste åra har også saltinnhaldet begynt å auke. Ser på eventuell gevinst ved bytte av utstyr frå vasshentar til miniCTD. Vasshentaren mistar nokre gonger maksimums- og minimumspunkta for vertikalt saltprofil.

Eit sonalt snitt i modellen MICOM nær stasjon MIKE blir vald ut. Modellresultata blir samanlikna med observasjonar gjennom 55 år. Generelt er MICOM for kald og fersk. Sesongvariasjonen er overdriven tydeleg og trengjer for djupt ned i vassøyla. Saltsyklusen tyder på at modellen sender den Norske Atlanterhavsstraumen for langt aust. Saltutviklinga til modellen nede i djupet har ingenting med røyndommen å gjere, feilen eskalerer oppover i vassøyla etterkvart som tida går. Observerte og modellerte anomaliar er svært ulike i alle djup, men samanliknings-metoden er diskutabel.

Tusen Takk!

Først vil eg takke Tor Gammelsrød og Johnny Johannessen for å finne ei oppgåve til meg og vidare all vegleiing, støtte og hjelp dykk har gitt meg undervegs. Eg vil også takke Ann Kristin Østrem for uvurderleg Matlab støtte i startgropa, og Frank Siegismund for å ordne til modell datasettet eg har nytta. Gjengen på Odd har gjort Geofysen til ein koseleg plass å vere, og elles må eg sjølvsagt takke Tone Endresen for masse rart gjennom studietida! Tilslutt retter eg ein stor takk til familien min, og kjæresten min Kai, for å vere der for meg. Mamma du er gull! Saknar deg...

Innholdsliste:

1 Introduksjon.....	1
2 Data, utstyr, modell og klassifisering av vassmassar.....	4
2.1 MIKE data.....	4
2.2 MicroCAT versus Nansen vasshentar data.....	4
2.3 MICOM data.....	5
2.4 Klassifisering av vassmassar.....	6
3 MIKE.....	7
3.1 Vertikal struktur.....	7
3.2 Sesongvariasjon.....	8
3.3 Lange tidsseriar.....	11
4 MicroCAT – vasshentar; korleis påverkar ny teknologi resultata frå MIKE?.....	13
5 MICOM - modell validering.....	15
5.1 Plasseringa til fronten.....	15
5.2 Vassmassar.....	20
5.3 Sesongvariasjon.....	21
5.4 Lange tidsseriar.....	25
6 Vidare diskusjon.....	28
6.1 MIKE i 2000 meter.....	28
6.2 MICOM-4 i 2000 meter.....	29
6.3 Meir om sesongvariasjonen til MICOM-4.....	30
6.4 Utvikling i det atlantiske kjernevatnet, observasjonar og modell.....	33
7 Oppsummering.....	37
Referansar.....	38

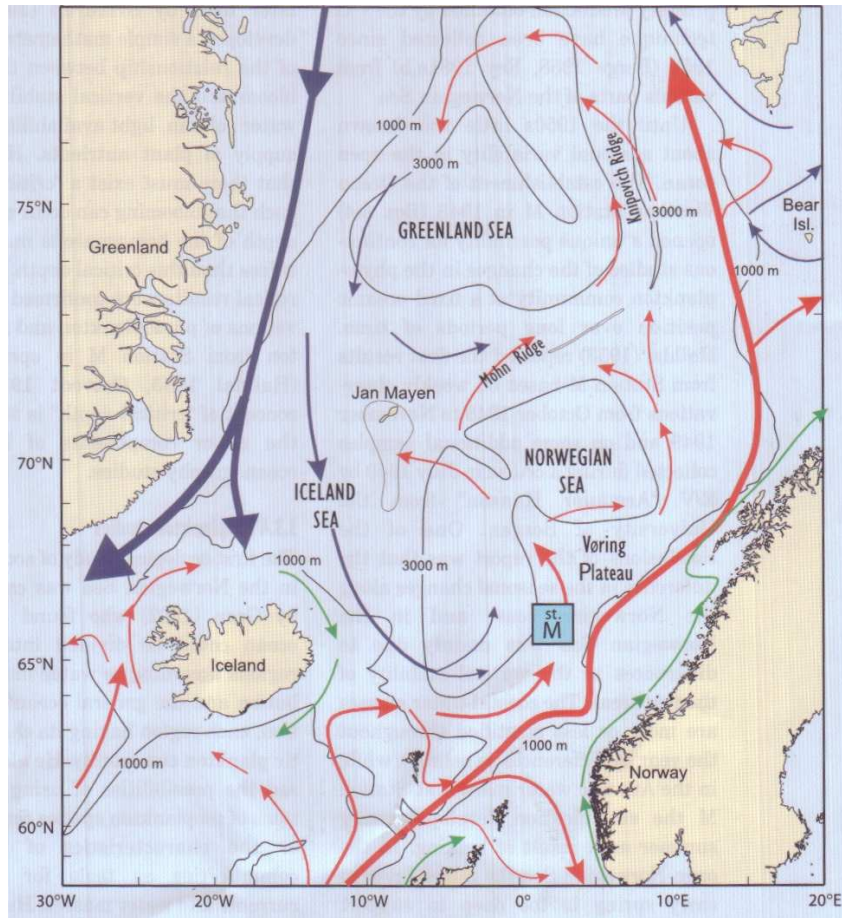
1 Introduksjon

Det Nordiske hav består av Grønlandshavet, Islandshavet og Norskehavet (figur 1a). Området er eit av dei best overvaka områda i verda i oseanografisk samanheng noko som går tilbake til pionerarbeidet av Helland-Hansen og Nansen i 1909. I sør grenser området til Nord Atlanteren og Nordsjøen, og i nord ligg Barentshavet og det Arktiske hav. Norskehavet har tre store frontar som skil ulike vassmasser, og skildrar dei horisontale oseanografiske hovudtrekka til regionen (figur 1b). I aust renn det ferske vatnet til den Norske Kyststraumen nordover langs Norskekysten parallelt med den Norske Atlanterhavsstraumen lengre ute frå kysten. Dette skaper ein skarp temperatur og salt front som er sterkt topografisk styrt mellom kontinental hylla og djup havet. Fronten kan typisk strekke seg mellom 60-80 km (Furevik et al., 2002). Nordavind langs Norskekysten kan føre til at lettare kystvatn spreier seg vestover og skaper eit grunt, øvre blandingslag med ein sterk pyknoklin over det atlantiske vatnet. Den andre fronten ligg ved den vestlege grensa av Norskehavet og er kjent som den Arktiske fronten. Fronten separerer det varme og salte atlantiske vatnet frå det kalde og ferske arktiske vatnet. Posisjonen til fronten og intensiteten til tettleiksgradienten i fronten varierer over tid, særleg i den sørlege delen der fronten sine maksimale kjende ytterpunkt har over 300 km mellom seg sonalt (Blindheim, 2004). Oppe i nordaust, vest for Svalbard, kjem polar vatn utifrå Barentshavet og møter det atlantiske vatnet, og i den vestlege delen av det Nordiske hav renn polar vatn ut gjennom det djupe Framstredet og følgjer Aust Grønlandsstraumen sørover. Noko av dette vatnet blir undervegs blanda inn i Grønlands- og Islandshavet. Desse to siste frontane er sterkt påverka av eventuelt isdekke (Rey, 2004). Kort oppsummert dominerer det atlantiske vatnet i sør og aust, og polar vatn i nord og vest. Det Nordiske hav fungerer såleis som ei buffersone mellom desse vassmassane.

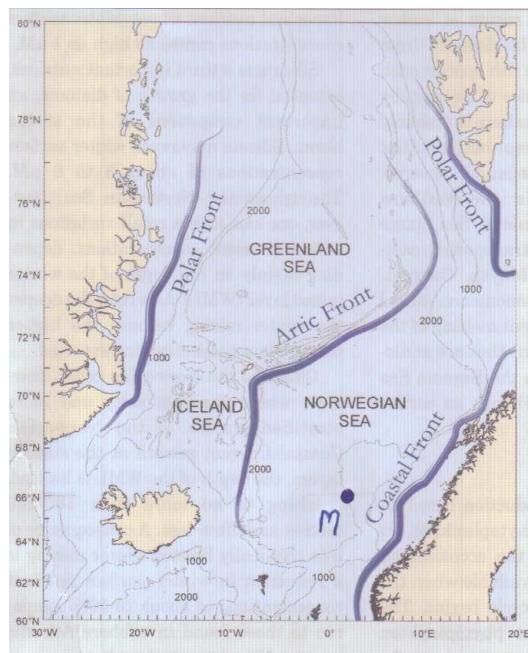
Varmt, salt atlantisk vatn kjem inn sørfrå, i dei tre opningane over Grønland-Skotland ryggen, mellom Grønland-Island (1.0 Sverdrup) også kjent som Danmarksstredet, Island-Færøyene (3.3 Sverdrup) og Færøyene-Shetland (3.7 Sverdrup) (Blindheim, 2004). Denne nord gåande varme- og salttransporten har stor betydning for blant anna det regionale klimaet, den termohaline sirkulasjonen og primær produksjonen i regionen. Det er to hovud greiner av den Norske Atlanterhavsstraumen. Den austlege greina følgjer hylle satsen til den Norske kontinental sokkelen, noko av greina bryt av inn i Barentshavet og resten renn vidare nord langs Spitsbergen. Den vestlege greina følgjer 2000 meter djubdekonturen («isobath») fram til det nordvestlege hjørna av Vøring plataet og deretter går den langs Jan Mayen forkastingssona. Det atlantiske vatnet blir utsett for sterk horisontal blanding og vindstress slik at dei to greinene blandast saman og breier seg langt vest for den vestlege greina i havoverflata. Resultatet er at utanfor Noreg er den Norske Atlanterhavsstraumen fanga mellom den Norske Kyststraumen i aust og til ein viss grad over seg, og det norsk arktisk intermediære vatnet i vest og under seg (Nilsen, 2003).

Posisjonen til vêrskipsstasjonen MIKE, ved 66° nord, 2° aust, er like over den undersjøiske 2000 meter høgda («isobath») i den bratte skråninga mellom Vøring plataet og Norske bassenget. Sidan 1. oktober 1948 har det blitt tatt hydrografiske målingar frå havoverflata til botn ved MIKE (figur 1a). Dette gjev ein meir enn 55 år lang serie, og stasjonen kan vise til den lengste homogene tidsserien frå djuphavet i verda (Østerhus et al., 1996). Oppstarten av observasjonane skuldast utbygginga av luftfarten etter andre verdskrig og historia går slik;

Den sivile luftfarten tok seg kraftig opp over Nord Atlanteren i etterkrigstida. Dette skapte eit behov for gode, regelmessige vêrobservasjonar i området, faste navigasjons- og kommunikasjonscenter for flya og redningsmuligheiter i tilfelle flyhavari. Den internasjonale sivile luftfartsorganisasjonen ICAO sa seg villig til å drive eit nettverk av 13 vêrskipstasjonar i Nord Atlanteren som skulle dekke alle desse oppgåvene. Nettverket var på plass i 1948 og stasjonane, eller skipa, fekk bokstavar frå A til M som namn. Noreg, med finansiell støtte frå Sverige og Storbritannia, fekk ansvaret for drift av stasjon MIKE (M). På denne stasjonen kom det også i gang



Figur 1a: Kartet viser hovudtrekka til straumssystemet rundt vêrskip stasjon MIKE (M) som ligg i Norskehavet på posisjonen 66° nord, 2° aust. Raude piler: Atlantisk vatn. Blå piler: Arktisk vatn. Grøne piler: Kyst vatn. Illustrasjonen er lånt ifrå Sætre (2004).



Figur 1b: Dei store frontane i overflata til det Nordiske hav er markerte på kartet. Det er Kystfronten, den Arktiske fronten og Polar frontane. Illustrasjonen er lånt ifrå Rey (2004).

innsamling av oseanografiske data, etter initiativ frå ei lita gruppe forskarar. Behovet for vêrskip gjekk gradvis ned, og i 1974 overtok verdas metrologiske organisasjon, WMO, ansvaret for dei 4 attverande skipa. I 1990 blei vêrskipavtalen avvikla. Per i dag er det berre stasjon MIKE igjen av det tidlegare nettverket (<http://-mike/historie.html>).

Nansen senteret har sin eigen versjon av modellen MICOM som er tilpassa dei Nordiske hav (Furevik et al., 2002). Modellen er køyrd i omtrent same tidsrom som det hydrografiske programmet ved MIKE. I denne oppgåva ser me først på utviklinga til MIKE gjennom åra, deretter vil me bruka MIKE resultata til å validere modellen MICOM i eit sonalt snitt nær MIKE. Me ønskjer å sjå om eit utsnitt av modellen klarar å simulere hovudtrekka til MIKE observasjonane. Dette gjer me ved samanlikning av vertikal struktur, sesongvariasjon og lange tidsseriar for temperatur og salt.

2 Data, utstyr, modell og klassifisering av vassmassar

2.1 MIKE data

Prøvetakinga ved MIKE skjer ved hjelp av Nansen-vasshentarar utstyrt med to vendetermometer per flaske, og har føregått på same måte sidan starten. Observasjonane blir gjort på 1000 meter djup 3-4 gongar i veka, og ned til 2000 meter djup ein gong i veka. Standarddjupa målingane tek stad i er 0, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000, 2100 meter og har vore slik frå oppstarten og fram til tokt 134.II i april 2002. Deretter er prøvene tatt i djupa 20, 30 og 40 meter i staden for målinga på 25 meter djup (Østrem, 2004). Tokta varer stort sett ein månad. Vassprøvene må analyserast på land etter kvart tokt for å bestemme saltinnhaldet. Eit kjent problem er at lagringstida påverkar saltinnhaldet, auka lagringstid gjev auka saltinnhald, og dette kan særleg gje utslag for dei store djupa (Mikki, 1998). Temperaturen kan lesast av frå vendetermometera ved å ta omsyn til temperaturen i rommet der avlesinga tek stad. Nansen-vasshentarane er alle festa til den same wiren når dei blir senka i havet for prøvetaking. Legg merke til at det er lengda på denne utstrekke wiren som avgjer djupet til prøvene. Det vil alltid vere ein vinkel av varierende storleik mellom ei tenkt loddlinje og wiren. Dette medfører at det observasjonsdjupet i realiteten er mindre enn det ønska standarddjupet. Eit ubeskytta termometer blir brukt for å korrigere for feilen (Østerhus & Gammelsrød, 1999).

Datasettet består av totalt 670 månadsgjennomsnitt i 17 standarddjup for både salt og temperatur. Serien går frå og med oktober 1948 til og med juli 2004. Dei månadlege gjennomsnitta er basert på alle observasjonane i kvar månad for alle åra. Målingane frå 2100 meter djup er kutta ut for heile serien, og prøvene i standarddjupa 20, 30 og 40 meter, frå april 2002 og vidare utover, er korrigert til 25 meter djup. Standardfeilen for salt er i tidlegare arbeid av Østerhus & Gammelsrød (1999) estimert til $\pm 0.003\%$, og for temperatur reknar dei den betre enn $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$. Det er deira datasett eg har nytta, berre forlenga med 6 år (1999-2004).

2.2 MicroCAT versus Nansen vasshentar data

I april-mai 2002 blei ein MicroCAT SBE-37 CTD tatt i bruk i tillegg til vasshentaren. Nokre startproblem gjorde at han først kom i regelmessig bruk frå august 2002. MicroCATen blir før låring programmert til å ta målingar av salt, temperatur og trykk med faste intervall. Dette gjer han både på veg ned og opp igjen. Alt måltakingsutstyret, både vasshentarane og MicroCATen, er festa til same wiren slik at observasjonane skjer samstundes. I etterkant blir MicroCAT sine rådata kalibrert mot vasshentar målingane. Rapporten "Report Nr R17" (Østrem, 2004) frå Bjerknes senteret omhandlar korleis kalibreringa skjer, og me kan også lese om MicroCAT detaljar der eventuelt på <http://www.seabird.com>.

Dette datasettet består av to deler, CTD-data frå MicroCATen og temperatur og salt målingar frå Nansen flaskene. Observasjonane er gjort i perioden frå og med 13.august 2002 til og med 19.mars 2004. Perioden er valt for å unngå eit skifte av salinometeret brukt i kalibreringa då salinometeret til Geofysisk institutt gjekk i stykke. Tidsserien er derfor kort, men dekker sesongsyklusen. Settet har 163 observasjonsdagar i 18 standarddjup (0, 10, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000, 2100 meter). Minner om at dette settet altså

ikkje har månadsgjennomsnitt, men inneheld profil frå enkelt dagar. 3-4 gongar i veka tar vasshentaren ei prøve i 1000 meter medan MicroCATen lagar eit samanhengande profil ned til 1000 meter. Vasshentaren har derfor fleire målingar i 1000 meter enn i dei andre standarddjupa. Ein gong i veka tar vasshentaren prøver i alle standarddjupa og MicroCATen går ned til 2100 meter.

2.3 MICOM data

Havsirkulasjonsmodellen Miami Isopycnic Coordinate Ocean Model (MICOM), sine hovudtrekk kan ein lese om i Bleck et al. (1992). Modellen brukar isopyknaler som vertikal koordinatar slik at den vertikale strukturen består av lag med konstant tettleik. Nansen senteret har vidareutvikla sin eigen variant av MICOM, både ein global versjon og ein regional versjon for dei Nordiske hav. Modelloppsettet og integreringa følgjer den synoptiske fortid-simuleringa («hind-cast») til Furevik et al. (2002) og modellen er fullt kopla til ein dynamisk-termodynamisk sjø-is modul.

Modellen har 26 vertikale lag der det øvste laget, blandingslaget, endrar tettleik med tid og rom. Tettleiken til dei 25 underliggjande laga er konstant, og verdiane er valde for å gje ein god representasjon av vassmassane i Nord Atlanteren og i dei Nordiske hav. Horisontalt har modellen eit rutenett («grid») med ein pol over Nord Amerika og ein pol over vestre del av Asia. Dette gjev ein grid storleik på omlag 40-50km i Nord Atlanteren-Nordiske hav. Rutenettet til den regionale versjonen er identisk konfigurert, men med dubla horisontal oppløysing noko som gjev ein grid storleik på 20km i området nær MIKE. Ved å bruke det globale rutenettet treng ikkje den globale modellen grensevilkår, den regionale versjonen les dei globale feltet ein gong i veka og interpolerer i tid for å få sine grensevilkår (Hatun et al., 2005). Batymetrien er utrekna som den aritmetiske gjennomsnittsverdien basert på ETOPO-5 databasen.

I oppstartingsperioden («spin-up») på 30 år brukte modellen månadsmiddel frå NCEP/NCAR (National Center for Atmospheric Research) deretter bruker den daglege NCEP/NCAR reanalyserte drivkraft felt («reanalysis forcing fields») (*vind, korte bølger, lange bølger, latente og sensible varme fluksar, nedbør, avrenning, og felt for havnivå høgda (SLP)*) for perioden 1948-2004. Momentum, varme og fersk vass fluksar blir modifiserte når den modelerte tilstanden til havoverflata varierer for mykje frå overflata til NCEP/NCAR feltet Furevik et al. (2002). Modellen har simulert ifrå oktober 1948 og fram til 2004.

Åtte grid punkt nær stasjon MIKE blei plukka ut for å representere eit sonalt (aust-vest) snitt gjennom den Norske Atlanterhavsstraumen. Ytterpunkta til modellsnittet ligg 60km vest og 80km aust for MIKE. Månadsgjennomsnitt for perioden frå og med januar 1949 til og med november 2003 blei konstruert. For å kunne samanlikne resultata frå lagmodellen MICOM direkte med MIKE observasjonane måtte den isopykniske vertikal koordinaten endrast til meter. Dette gjorde Frank Siegismund ved Nansen senteret for meg. Prosedyren for interpolasjonen var slik; Hydrografien ved $z = 0$ er sett til verdiane i lag 1 (dvs. at verdiane er konstante frå overflata ned til midten av blandingslaget). Salt og temperatur for midten av laget er gitt av modellverdiane. På grenseflatene blir gjennomsnittet av dei to nærliggjande laga brukt. Deretter er dataa lineært interpolert til Levitus standarddjupa 0, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1750, 2000, 2200, 2500, 3000, 3500 meter. Datasettet består såleis av 8 MICOM stasjonar med 659 månadsgjennomsnitt i 30 standarddjup.

2.4 Klassifisering av vassmassar

Temperatur og salt blir brukt for å identifisere ein vassmasse fordi dei er konservative eigenskapar som kun blir endra ved grensene til havet. Inne i sjølve havet skjer endringar berre som eit resultat av at vassmassar med ulike karakteristiske drag blandar seg. Kombinasjonen av temperaturen og saltinnhaldet til ein vassmasse kan dermed fortelje kor vassmassen stammar ifrå.

Eg vel å klassifisere vassmassane (tabell 1) etter systemet til Blindheim (2004). Han brukar denne klassifiseringa på Svinøy snittet, som går sonalt på tvers av Atlanterhavsstraumen , litt sør for MIKE. Atlantisk vatn kjem ifrå Atlanterhavet, men i dei Nordiske hava blir alt vatn med saltinnhald over 35.0‰ identifisert som atlantisk vatn. Kjernen ligg mellom 50 og 200 meter. Norsk arktisk intermediært vatn blir spreidd inn i Norskehavet frå Islandshavet og Grønlandshavet. Det har ein kjerne mellom 400 og 800 meter avhengig av kor ein er i Norskehavet. Norskehavs djup vatn er ein blanding av vatn frå det Arktiske hav og Grønlandshavet, og det er å finne under 1000 meter.

Tabell 1

Vassmassar:	Temperatur	Salt
Atlantisk Vatn (AV)	oftast over 2°C	over 35.0‰
Norsk Arktisk Intermediært Vatn (NAIV)	mellom -0.5°C og 0.5°C	mellom 34.87‰ og 34.90‰
Norskehavs Djup Vatn (NDV)	kaldare enn -0.5°C	lik 34.91‰

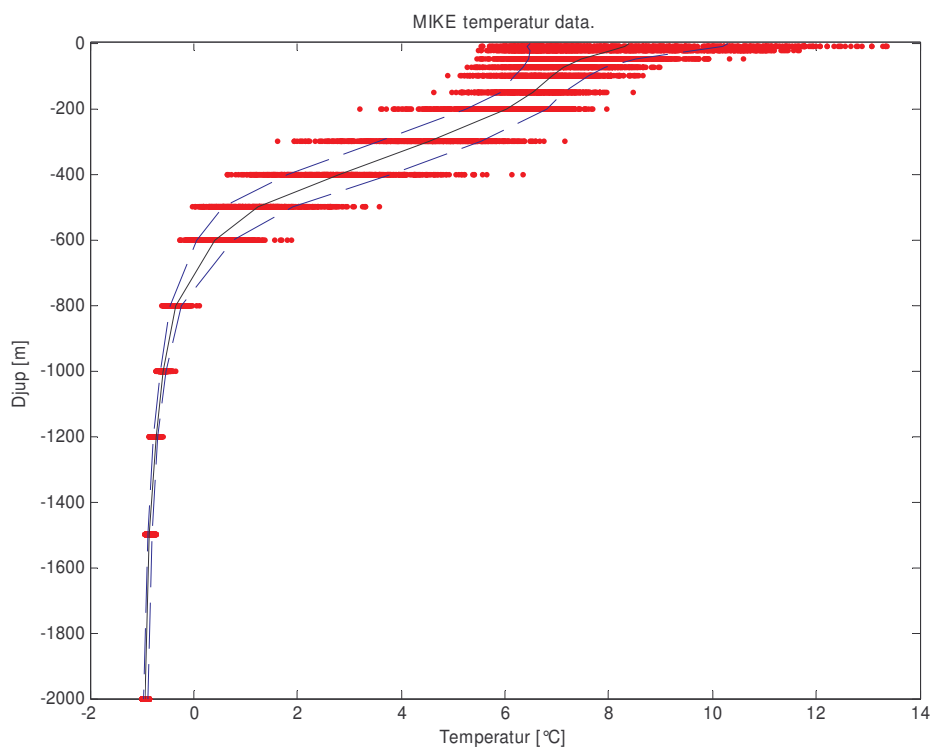
I overflata har me også til tider mindre salt norsk kystvatn som er vatn med saltinnhald mindre enn 35.0‰ i blandingslaget ved MIKE (Johannessen, 1979).

3 MIKE

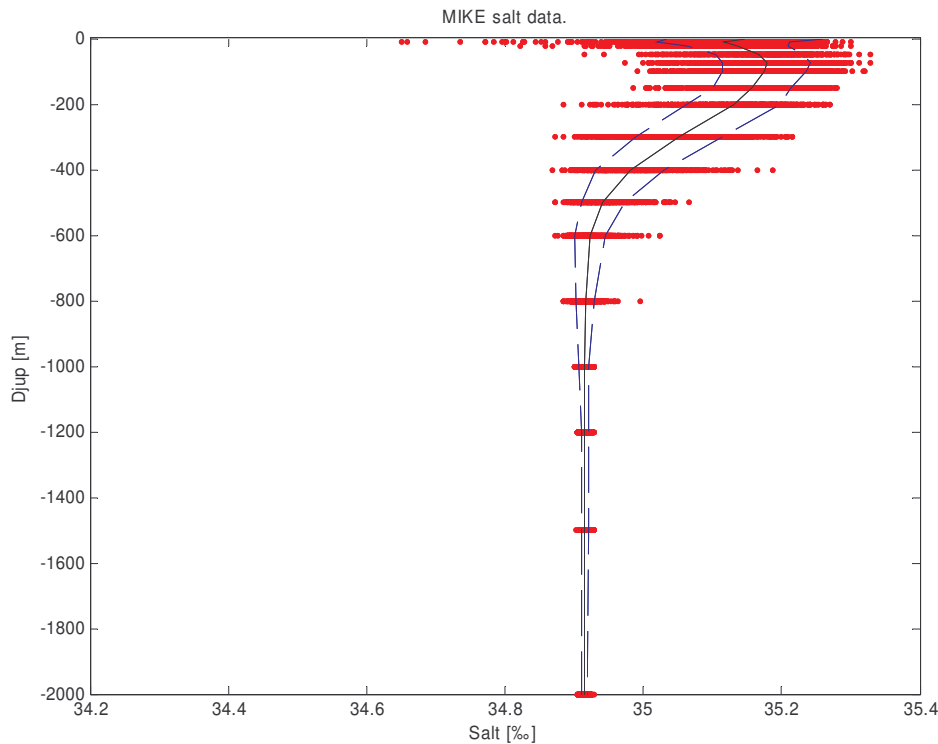
3.1 Vertikal struktur

Midla vertikal profil av temperatur og salt med tilhøyrande standardavvik (figur 2 og 3) blei laga frå alle dei midla månadsgjennomsnitta ved stasjon MIKE. Både i det midla temperatur profilet og det midla salt profilet ser me stor spreiding i dataa ned til og med 800 meter. Spreiinga lar seg forklare med den naturlege sesongvariasjonen i dei øvste 300 meterane, og vidare nedover mellom 300 meter og 800 meter skuldast den høge variabiliteten truleg meandere (virvlar) og endringar i posisjonen til den Norske Atlanterhavsstraumen (Gammelsrød et al., 1992). Generering av meandere og eddiar er eit vanleg fenomen langs fronten i den austlege delen av det Nordiske hav (Rey, 2004).

Profila viser at stratifiseringa i den Norske Atlanterhavsstraumen er dominert av temperatur (figur 2). Salt profilet har ein destabiliserande effekt på vassøyla under saltmaksimumet på 75 meter djup (figur 3). I overflata (ca. ved 25 meter) er det eit saltminimum som kjem av nedbør og inntrengjande ferskvatn ifrå den Norske Kyststraumen (Gammelsrød et al., 1992). Eit saltminimum, grunna påverknad av arktisk intermediært vatn, burde vere å finne i profilet mellom 400 meter og 800 meter djup (Blindheim, 2004). Den vertikale oppløysinga til vasshentaren, saman med at kurva blir glatta ut når ein midlar observasjonane, gjer at minimumet forsvinn i det midla salt profilet. Det nedre standardavviket (figur 3) indikerer likevel eit saltminimum i 600 meter djup.



Figur 2: Midla vertikal profil av alle temperatur målingane (svart heiltrekt linje) frå MIKE, og standardavvika (blå stipla linjer). Dei raude prikkane syner dei månadlege temperatur gjennomsnitta i standard djupa.



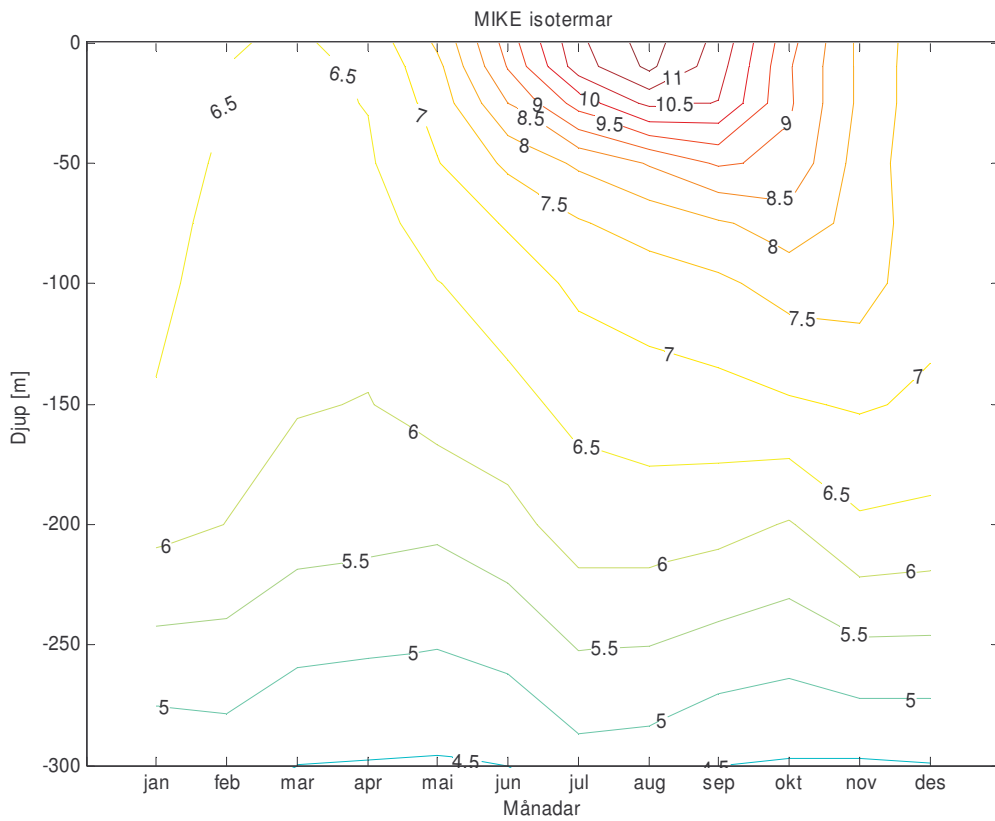
Figur 3: Midla vertikal profil av alle salt målingane (svart heiltrekt linje) frå MIKE, og standardavvika (blå stipla linjer). Dei raude prikkane syner dei månadlege salt gjennomsnitte i standard djupa.

3.2 Sesongvariasjon

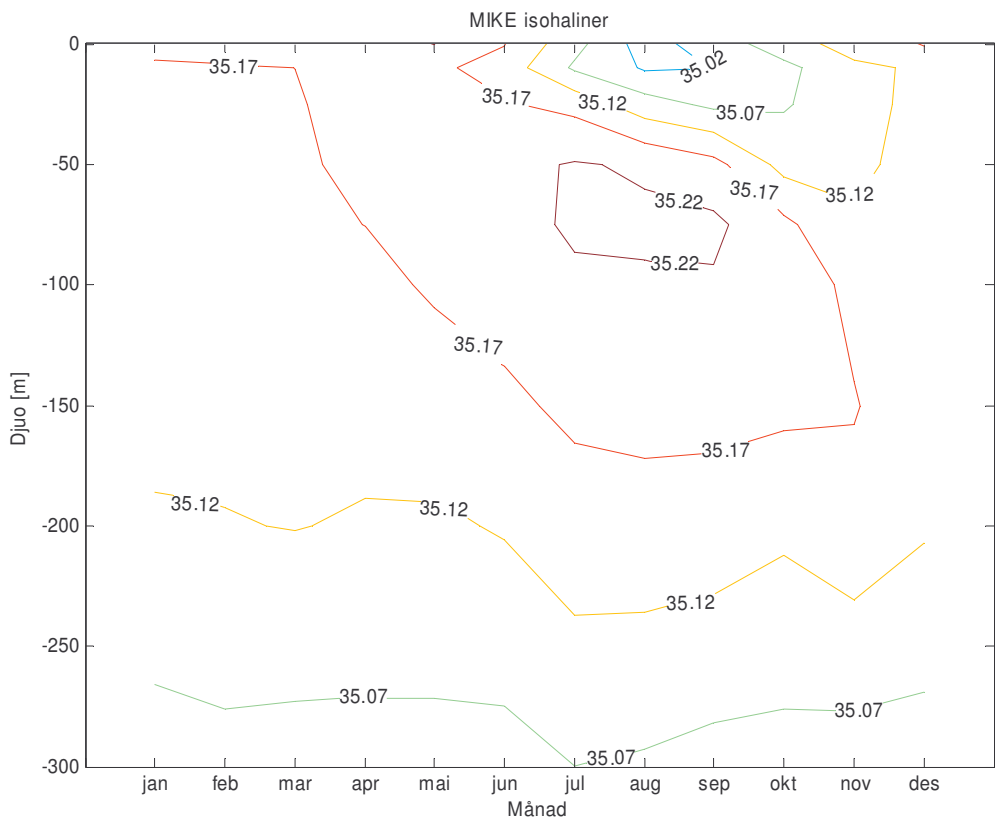
MIKE datasettet blei sortert etter året sine månadar, og sidan midla me kvar måned i alle standarddjupa. Resultatet er eit inntrykk av sesongvariasjonen for temperatur og salt ved stasjon MIKE (figur 4 og 5). Ved først å plote temperatur og salt profil ned til 1000 meter for alle månadane i året såg me at under 300 meter forsvinn sesongsignalet både for temperatur og salt (ikkje vist her).

Temperaturen har ein normal sesongvariasjon som følgjer årstidene der mars er den kaldaste månaden og august er den varmaste månaden i overflata (figur 4). Sesongsignalet sin forseinking med djupet er meir markert for oppvarmingssesongen enn nedkjølingssesongen. Forklaringa på det kan vere at nedkjøling har ein destabiliserande effekt på vassøyla slik at den vertikale blandinga viskar ut signalet (Gammelsrød og Holm, 1984). Den vertikale strukturen til MIKE (kapittel 3.1) viste også at det er temperaturen som dominerer stratifiseringa til vassøyla. I ca. 100 meter djup er fortsett mars den kaldaste månaden, maksimumstemperaturen i dette djupet kjem først i desember.

Sesongvariasjonen for salt gjev eit meir uryddig bilete. I overflata finn me saltmaksimumet i mai måned (dette ser me tydelegare i figur 23), og saltminimumet kjem tre månadar seinare i august (figur 5). Gammelsrød og Holm (1984) viser at det lokale atmosfæriske påtrykket ikkje styrer sesongvariasjonen til saltet i same grad som temperaturen. Nedbøren i området er nokså konstant heile året, og fordampinga har sitt maksimum i januar og minimum i juli. Dei peikar på adveksjon og horisontal diffusjon som viktige brikker i saltsyklusen. Saltminimumet forplantar seg frå overflata i august nedover til ca. 60 meter djup i november/desember og senker saltinnhaldet til det atlantiske vatnet seinhaustes (Nilsen & Falck, 2003). I månadane juli, august og september er det ein konsentrert kjerne med salt vatn (saltinnhald = 35.22‰) mellom 50 og 90 meter djup. Det varme og salte vatnet som me finn heilt frå 200 meter djup og opptil det ferske overflatelaget (figur 6 a,b)) skuldast både sommaroppvarminga og varmt og salt vatn frakta inn i området med



Figur 4: Isothermar [°C] ned til 300 meter ved MIKE.

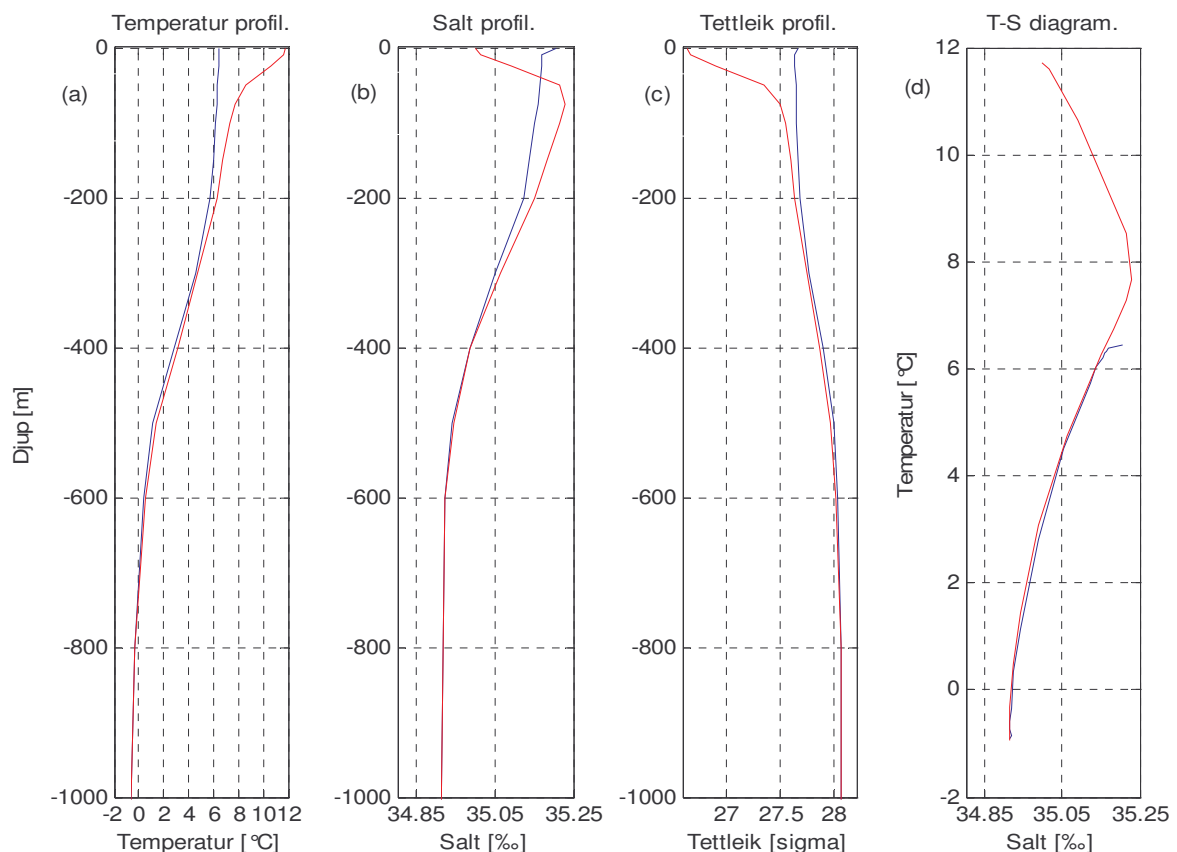


Figur 5: Isohaliner [‰] ned til 300 meter ved MIKE.

straumssystemet (Blindheim, 2004). Observasjonane stemmer overeins med Nilsen & Falck (2003) som fann at temperatur syklusen er 3 månadar bak salt syklusen i 100 meter djup ved MIKE. Dei påpeikar at syklusen har vist seg å stemme for både Svinøy snittet og også lenger nord for MIKE i den Norske Atlanterhavsstraumen.

Midla vertikal profil av temperatur og salt viser vassøyla i mars (slutten av vinteren) og august (midtsommars) ved stasjon MIKE (figur 6a og 6b). Nilsen & Falck (2003) estimerer den generelle tjuknaden til blandingslaget til 300 meter vinterstid og til 20 meter om sommaren. Profila frå mars har omtrent konstant temperatur i dei øvste 200 meterane, og saltet endrar seg berre med 0.05‰ frå 200 meter til 25 meter djup. Dei øvste 25 meterane er påverka av relativt fersk norsk kystvatn (Gammelsrød & Holm, 1984). Me ser dermed at vassøyla i hovudsak blandar seg vertikalt til homogenitet frå 200 meter og opp pga. nedkjølinga om vinteren (figur 6c). Under det homogene laget er det ein relativ slakk temperatur og salt gradient ned mot den kaldare og saltare norskehavs arktisk intermediære vassmassen.

Profila frå august har ein liknande gradient mellom 200-600 meter som for mars månad. Den øvste delen av vassøyla er blitt stratifisert (figur 6c og 6d). Nær overflata er temperaturen heile 5°C varmare enn i mars, og ved 100 meter djup er temperaturforskjellen (aug – mars) nede i 1°C. Deretter minkar temperaturen jamt ned til den underliggjande vassmassen. August saltprofilet har eit djupare fersk overflatelag enn mars, og den høgaste saltmålinga er ved 75 meter djup. Vind driven Ekman transport av norsk kystvatn i sommarmånadene er orsaka til auka tilførsel av fersk vatn (Nilsen & Nilsen, 2003). Den temperatur dominerte stratifiseringa sørgjer for at det ferske overflatelaget først blir miksa nedover i vassøyla seinhaustes.



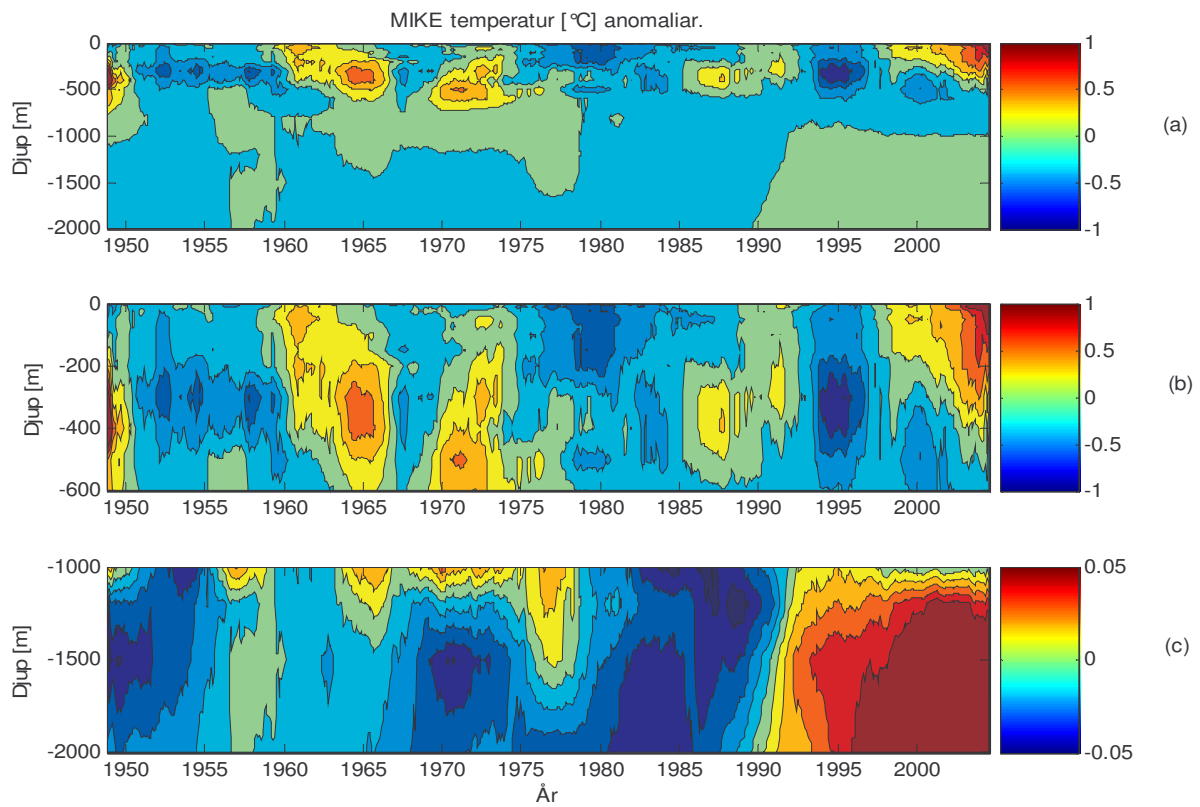
Figur 6: Profil av temperatur (a), salt (b), tettleik (c) og eit TS-diagram (d) ned til 1000 meter ved MIKE midla for heile perioden 1948-2004 i månadane mars (blå) og august (raud).

3.3 Lange tidsseriar

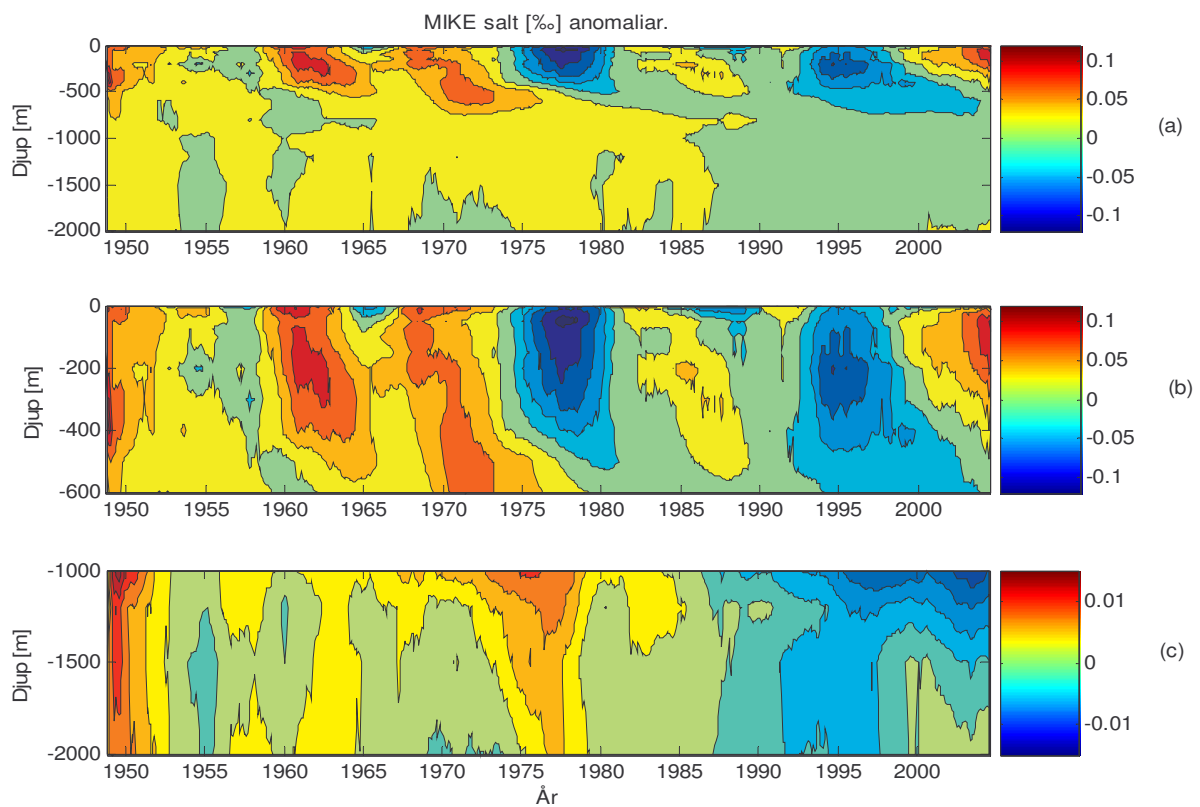
Anomaliar blei laga for å sjå på eventuelle temperatur og salt endringar sidan dei hydrografiske målingane tok til ved stasjon MIKE i 1948. Dei blei framstilt ved å bruke heile tidsserien til å rekne ut gjennomsnittlege månadsverdiar for temperatur og salt i alle standarddjupa. Etterpå subtraherte me den gjennomsnittlege månadsverdien («normalverdien») frå den aktuelle månaden (t.d. temperaturen i januar 1949 – gjennomsnittleg temperatur i januar for heile tidsserien) for å eliminere sesongsignalet. I figur 7 og 8 viser anomaliane heile vassøyla i a), mens 0-600 meter er vist i b) og dei nedste 1000 meterane i c). Verdien til anomalien sin fargekode kan ein lese i skalaen til høgre i figuren. Skalaen kan variere frå figur til figur. Det største negative temperatur avviket er på -0.4°C , i ca. 400 meter, rundt 1995 (figur 7b). Det største positive temperatur avviket kjem i overflata, heilt i enden av tidsserien, og utslaget er større enn $+1.0^{\circ}\text{C}$ (figur 7b). For salt er dei respektive verdiane «mindre enn -0.1‰ » i overflata på slutten av 1970-talet, og $+0.06\text{‰}$ i alle dei tre salte periodane i tidsserien (figur 8b). Desse tre periodane er rundt 400 meter i 1948-50, i 200 meter mellom 1960-65, og i overflata i 2002-03. Anomaliane syner at under omlag 600 meter er variasjonane små (figur 7a og 8a).

Me kikkar nærmare på hendingane som skil seg mest ifrå normalen i dei 600 øvste meterane av vassøyla (figur 7b og 8b). Heilt i starten av tidsserien (1948-1950) ser me slutten av ein varm og salt periode, dette finn me også i første halvdel av 60-åra, rundt 1971-1972 og ifrå ca. 2002 til enden av serien. Rundt 1978-1980 og 1994-1996 er det to kalde og ferske periodar. Dei to varme, salte periodane i 1948-50 og i starten av 60-åra er nemnd i Gammelsrød et al. (1992). Det varme, salte vatnet i starten av 70-åra på rundt 500 meter djup, kallar Nilsen (2003) for eit salt maksimum i det intermediære vatnet frå 400-1200 meter. Han meiner vassmassen kan vere eit resultat av nokre kalde år i enden av 60-åra der djup konveksjon av atlantisk vatn tok stad i vestre del av det Norske bassenget, og blei sidan advektert til MIKE. Den kalde, ferske perioden i slutten av 70-åra er avtrykket til den mykje omtalte store ferskvassforstyringa (the Great Salinity Anomaly, GSA) (Dickson et al., 1988). Frå den hendinga til ca. 1998 gjev anomalien eit kaldt og ferskt inntrykk. Dette er ein svak negativ trend i saltinnhaldet i dei øvste 500 meterane i 1980-90 åra som følgjer GSA (Nilsen, 2003; Curry & Mauritzen, 2005). Denne perioden vert avslutta med kaldt og ferskt vatn frå overflata nedtil omlag 700 meter djup i midten av 90-åra. Vatnet blir deretter både varmare og saltare nær overflata. I Gammelsrød & Sætre (2005) peiker dei blant anna på at det atlantiske vatnet i 2004 har den høgaste, observerte salthaldigheita for heile tidsserien til MIKE noko som er samanfallande med den lågaste registrerte indeksen til den subpolare virvelen («gyre»). Det er Hatun et al. (2005) som har studert korleis den subpolare Atlantiske virvelen påverkar den termohaline sirkulasjonen i området.

Frå 1000-2000 meter består vassøyla av norskehavs djup vatn. Dette vatnet er ein veldig homogen vassmasse med typisk saltinnhald på 34.91‰ , og temperaturar kaldare enn -0.5°C . Her må skalaen til anomaliane vere særskild detaljert for å sjå eventuelle endringar. Det er kaldt fram til slutten av 80-talet, og deretter stig temperaturen frå 2000 meter djup og vidare oppover med tida mot 1200 meter (figur 7c). Ei mogleg forklaring på oppvarminga er horisontal adveksjon frå Grønlandshavet, gjennom Jan Mayen kanalen på ca 2200 meter, der temperaturauken følgjer sirkulasjonen i Norskehavet, og noko av varmen blir sidan miksa oppover i vassøyla (Østerhus & Gammelsrød, 1999). Saltet har først ingen generelle trekk nede i djupet. Det er ein salt periode i 1948-1950 og rundt 1975-1976 som begge tok til ovanifrå. I 1986 overtar ein fersk periode som også kjem ovanifrå, men i ca. år 2001 ser det ut som at det begynnar å presse litt saltare vatn oppover ifrå 2000 meter (figur 8c og 8a).



Figur 7: Temperatur anomalier i ulike djup for MIKE i perioden 1948-2004. Legg merke til skalaen på høgre side av figurane.

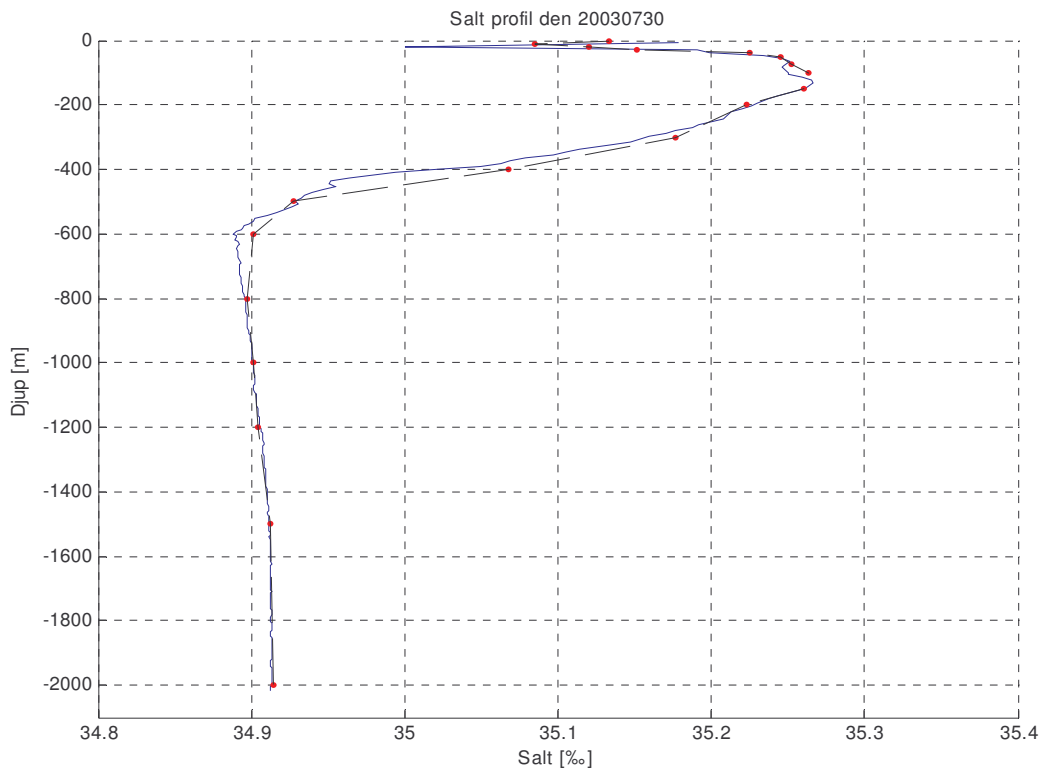


Figur 8: Salt anomalier i ulike djup for MIKE i perioden 1948-2004. Legg merke til skalaen på høgre side av figurane.

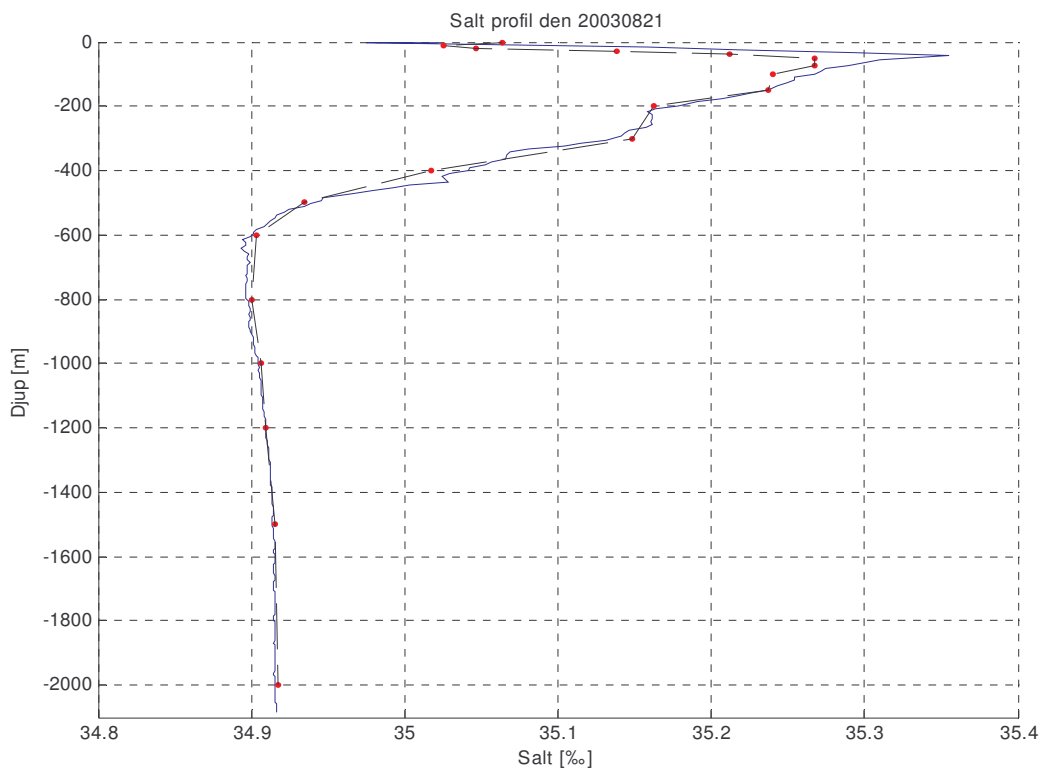
4 MicroCAT – vasshentar; korleis påverkar ny teknologi resultatata frå MIKE?

MicroCATen tar målingar frå heile vassøyyla og gjev såleis eit heiltrekt profil. Vasshentaren tar kun prøvar i sine standarddjup. Me teikna profila til MicroCAT og vasshentar for ein og ein dag gjennom heile tidsserien (13.august 2002 – 19.mars 2004) i same figur for å kontrollere om vasshentaren går glipp av eventuelle maksimums- og minimumspunkt. I hovudsak stemmer profila bra overeins med kvarandre, særleg gjeld dette temperaturobservasjonane, men me finn døme på dagar der vasshentaren mistar maksimums- og/eller minimumspunkta, og dagar der profila har merkelege avvik (ikkje vist her).

Det første me undersøkte var om MicroCATen registrerte det forventta saltminimumet i 400-800 meter djup fororsaka av norsk arktisk intermediært vatn. I figur 3 såg me innslaget svakt i det nedre standardavviket til vasshentaren. Ved gjennomgang finn me at vasshentaren sitt minimum nokre gongar er litt saltare og opptil 200 meter vertikalt feilplassert (figur 9). MicroCATen har her saltminimumet i 600 meter med salt = 34.89‰ medan vasshentaren har minimumet i 800 meter med salt = 34.90‰. Sjølv om differansen i saltinnhaldet verkar liten utgjør den om norsk arktisk intermediært vatn blir påvist eller ikkje. Det neste me såg etter var saltmaksimumet mellom 25-75 meter (figur 6b). Dette går vasshentarprofilet nokre gongar glipp av i sommarmånadane når saltmaksimumet er å finne rundt 75 meter i kjernen av det atlantiske vatnet (figur 10). Gjennomgang av alle temperaturprofila viste at temperatur attgjevinga er bra. Unntaksvis fann me døme på både salt og temperatur profil som ber preg av feilmålingar frå vasshentaren si side. Desse punkta blei kontrollert mot dei originale dataarka frå MIKE, for å eliminere menneskelege taste feil, utan at denne typen feil blei avdekka. Vasshentar profila skildrar såleis vassøyyla i grove trekk godt, men den dårlege oppløysinga fører innimellom til at vasshentar dataa ikkje registrerer maksimums- og minimumsverdien til saltet.



Figur 9: Salt profil ved MIKE den 30. juli 2003. Den heiltrekt blå linja er MicroCAT profilet, vasshentarprøvene er dei raude punkta, og den stipla svarte linja syner vasshentarprofilen ein kan trekke mellom prøvene. Figuren viser korleis vasshentarprofilen går glipp av og vertikalt feil plasserer saltminimumet.



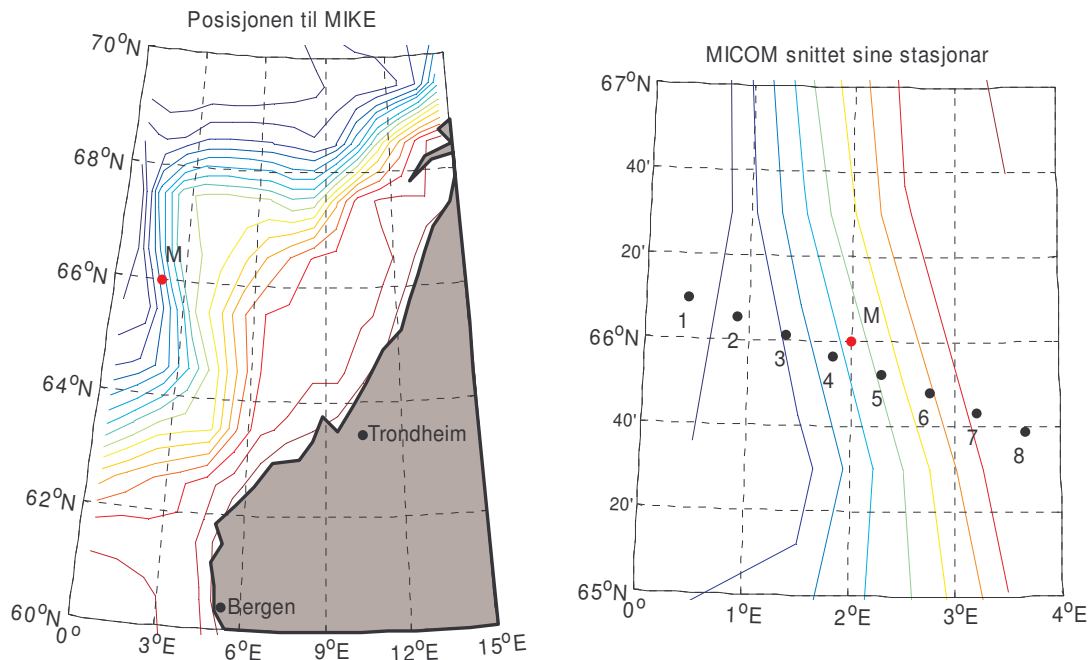
Figur 10: Salt profil ved MIKE den 21. august 2003. Den heiltrekt blå linja er MicroCAT profilet, vasshentarprøvene er dei raude punkta, og den stipla svarte linja syner vasshentarprofilen ein kan trekke mellom prøvene. Figuren viser korleis vasshentarprofilen går glipp av saltmaksimumet.

5 MICOM – modell validering

5.1 Plasseringa til fronten

Stasjon MIKE ligg nær vestre fronten til den Norske Atlanterhavsstraumen (figur 13 og 15). Her er det markante aust-vest gradientar i salt og temperatur. Fronten til straumen ligg ikkje i ro, men flytter seg sonalt fram og tilbake. Eit problem innan modellering er å klare og plassere fronten på rett stad til rett tid. Dette medfører at me må kontrollere fleire gridpunkt i MICOM for å finne det punktet som representerer MIKE best. Åtte gridpunkt i MICOM nær MIKE blei valt ut til formålet (figur 11). Punkta fekk stasjonsnamn frå 1 til 8. Stasjonane ligg alle på ei linje på tvers av den observerte Norske Atlanterhavsstraumen slik at det vertikale snittet mellom dei burde gje eit bilete av fronten til modellen.

I Gammelsrød & Holm (1984) er det eit CTD snitt som gjev eit augneblinksbilete («snapshot») av salt og temperatur langs 66° nord tatt i mars 1983 (figur 13 og 15). Ved å samanlikne CTD-snittet mot det konstruerte MICOM snittet frå mars 1983 (figur 12 og 14) håpar me å sjå kor fronten til MICOM ligg plassert i høve til MIKE, og dermed indikere kva for MICOM stasjon me bør velje til valideringa.



Figur 11: Kart som viser plasseringa til MIKE (raud prikk) i høve til Norskekysten og batymetri, og kor MICOM stasjonane (1-8) (svarte prikkar) ligg i høve til MIKE.

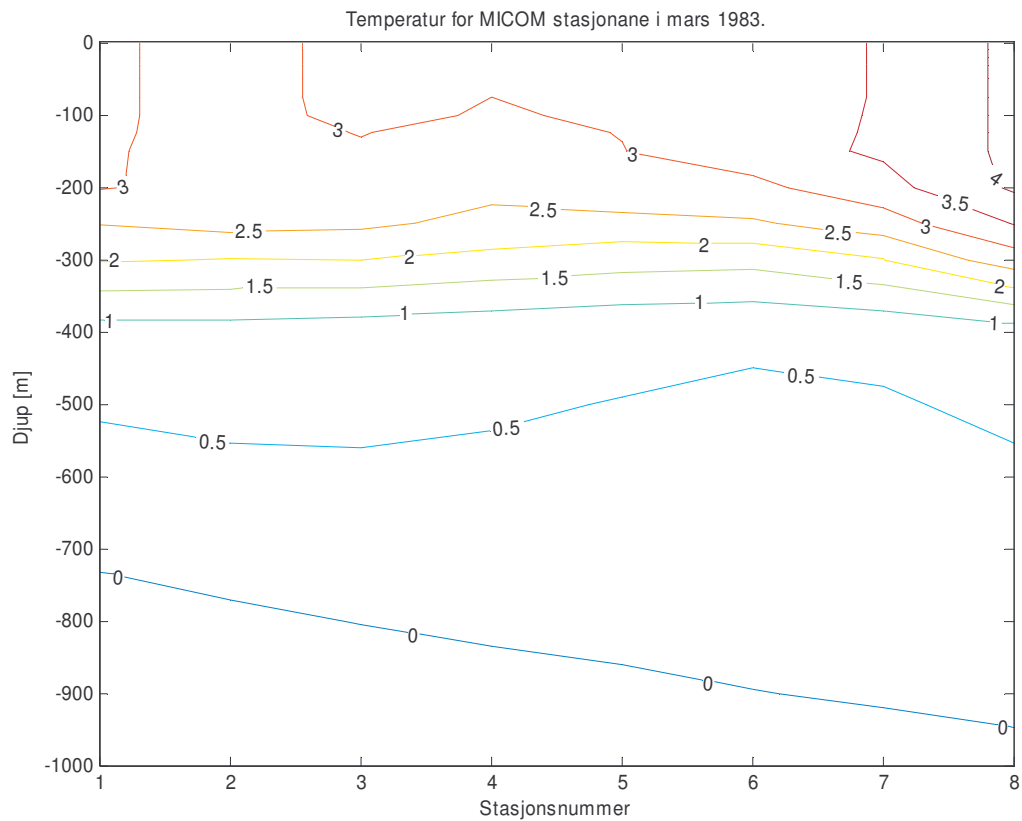
For å kontrollere at CTD snittet er representativt for fronten under MIKE samanliknar me CTD observasjonen med ei romleg studie ("spatial") av MIKE data utført av Nilsen & Nilsen (2003). Dei fann at temperaturen og saltinnhaldet til fronten fell med gjennomsnittleg 2.0°C og 0.1‰ frå 200 til 400 meter djup over ein horisontal strekning på 40km frå vest til aust. Les me av temperatur og salt verdien i 200 meter djup 20km vest for MIKE, og i 400 meter djup 20km aust for MIKE (figur 13 og 15) ser me at temperatur og salt reduksjonen til CTD fronten er 1.5°C og 0.05‰. Resultatet høver greitt med gjennomsnittsverdiane til Nilsen & Nilsen (2003).

MICOM sitt temperatursnitt (figur 12) gjev eit mykje kaldare inntrykk enn observert temperatur snitt (figur 13). Det varmaste vatnet i MICOM blir riktig nok plassert nærmast Norskekysten, men er 2-3°C for kaldt. Null isoterme ligg i MICOM snittet mellom 700-950 meter djup og i det observerte snittet ligg den mellom 500-800 meter djup. Ei mogleg forklaring på temperatur forskjellane mellom modell resultat og observasjonar er at modellen legg fronten for langt mot aust.

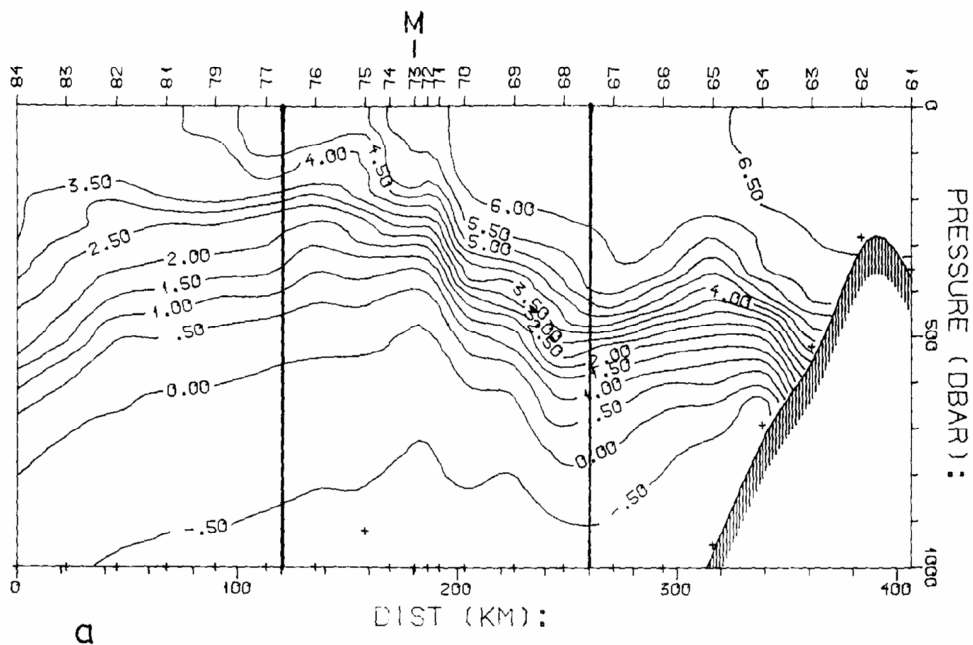
For saltinnhald snitta er det nyttig å sjå særskilt på 35.00 isohalinen då denne markerer skiljet mellom atlantisk vatn og ikkje atlantisk vatn. MICOM har ein vassmasse med saltinnhald lik eller rett over 35‰ (dvs. atlantisk vatn) heilt vest i bilete (figur 14). Vassmassen strekker seg frå overflata og ned til 300 meter djup. I det observerte salt snittet ligg det atlantiske vatnet aust i bilete og me finn det heilt ned på 400 meter djup (figur 15). MICOM og CTD snittet gjev to nesten spegelvende snitt av 35.00 isohalinen. Me kan undre om MICOM her lar den Norske Atlanterhavsstraumen gå så langt vest at det er fronten mellom den Norske Kyststraumen og det atlantiske vatnet me ser. Det modellerte temperatursnittet støttar ikkje denne forklaringa då det varme vatnet ligg mot aust (figur 12). Eit anna alternativ er at salt snittet til MICOM-4 (figur 14) er henta heilt vest i det observerte salt snittet der 35‰ isohalinen på ny blir djupare etter å ha passert den skarpaste delen av fronten under MIKE (figur 13). Dette vil bety at fronten me leitar etter i MICOM snittet er forskuve mot aust. Forklaringa stemmer nokolunde med temperaturmønsteret til modell og observasjon i dei øvste 300 meterane, men lenger nede heller temperaturfrontane kvar sin veg (figur 12 og 13).

Me plottar ein tidsserie av temperatur og salt resultat i 200 meter djup frå MICOM snittet sine ytterstasjonar, stasjon 1 (blå) og stasjon 8 (raud), der stasjon 4 blir brukt som referansestasjon (figur 16 og figur 17). Maksimum amplitude til ytterstasjonane i høve til referansestasjonen er for temperatur $\pm 6^{\circ}\text{C}$ og for salt $\pm 0.3\text{‰}$. Temperaturen i det modellerte atlantiske vatnet har generelt vore varmt mot Norskekysten (aust) og kaldt bort ifrå kysten (vestover) (figur 16). Saltet har ingen slik klar trend (figur 17). I starten av 50-talet og midten av 70-talet finn me det saltaste vatnet mot kysten, og elles er bilete ganske vekslende. Byrjinga av blant anna 80-talet ber preg av ferskt vatn mot aust slik me også såg i figur 14 for MICOM snittet i mars 1983.

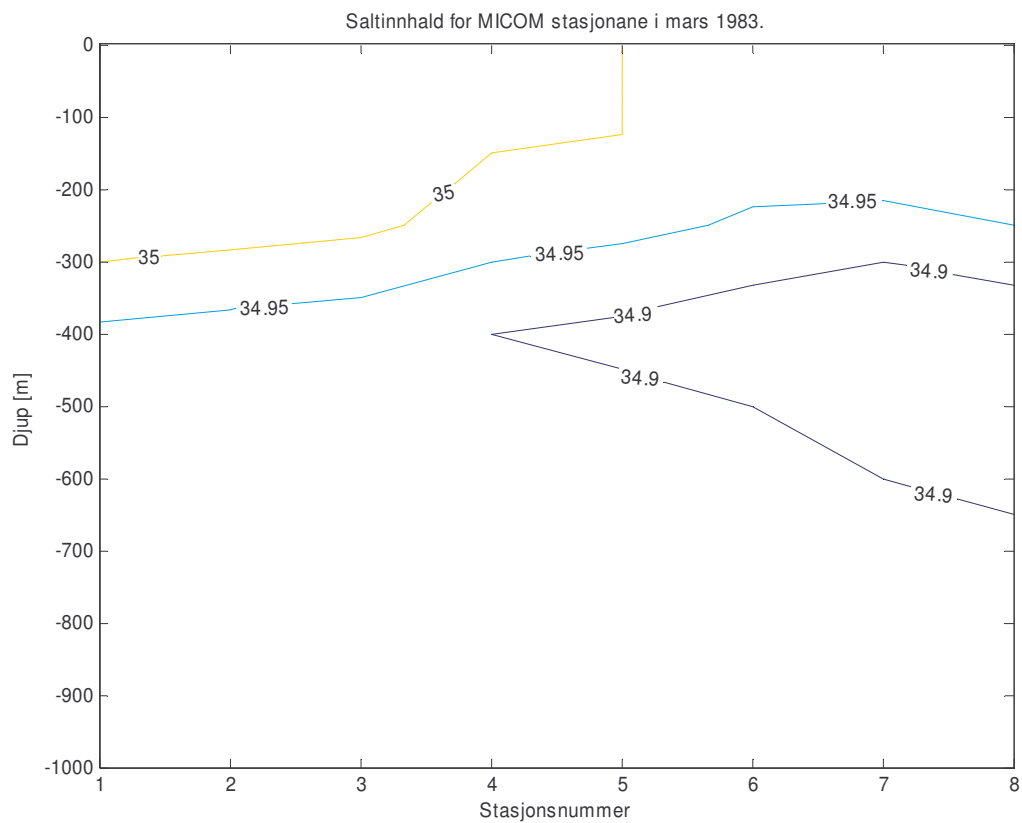
Sidan me ikkje får avgjort kor fronten til MICOM ligg i høve til stasjonen MIKE utifrå overnemnde resultat vel me å bruke hovudsakleg stasjon 4 vidare i oppgåva. MICOM stasjon 4 (MICOM-4) er geografisk nærmast stasjon MIKE.



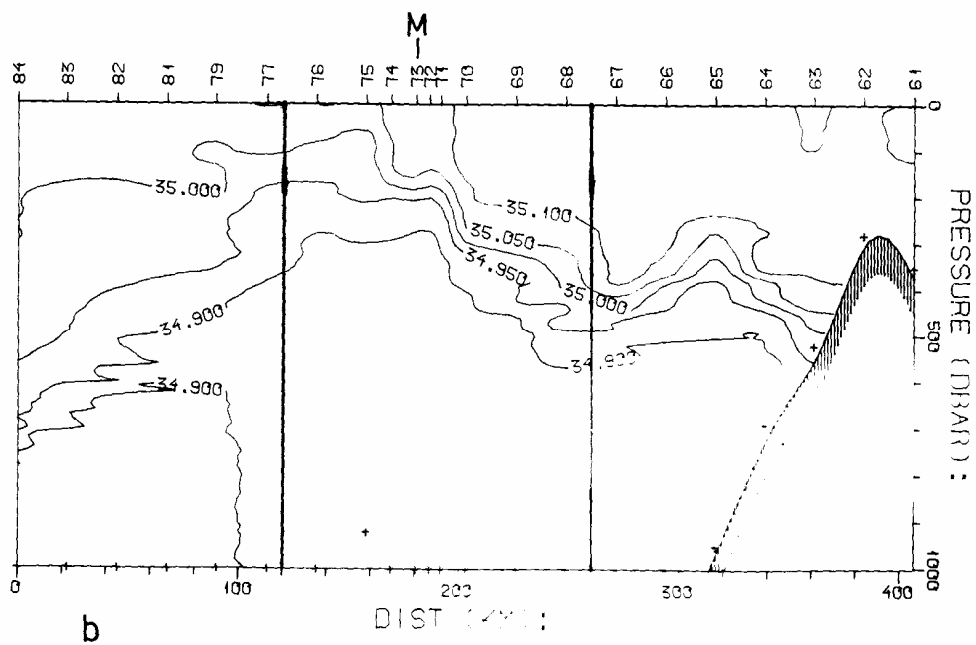
Figur 12: Vertikalt temperatursnitt [$^{\circ}\text{C}$] for MICOM stasjonane i mars 1983. Avstanden mellom kvar stasjon (gridpunkt) er ca. 20km.



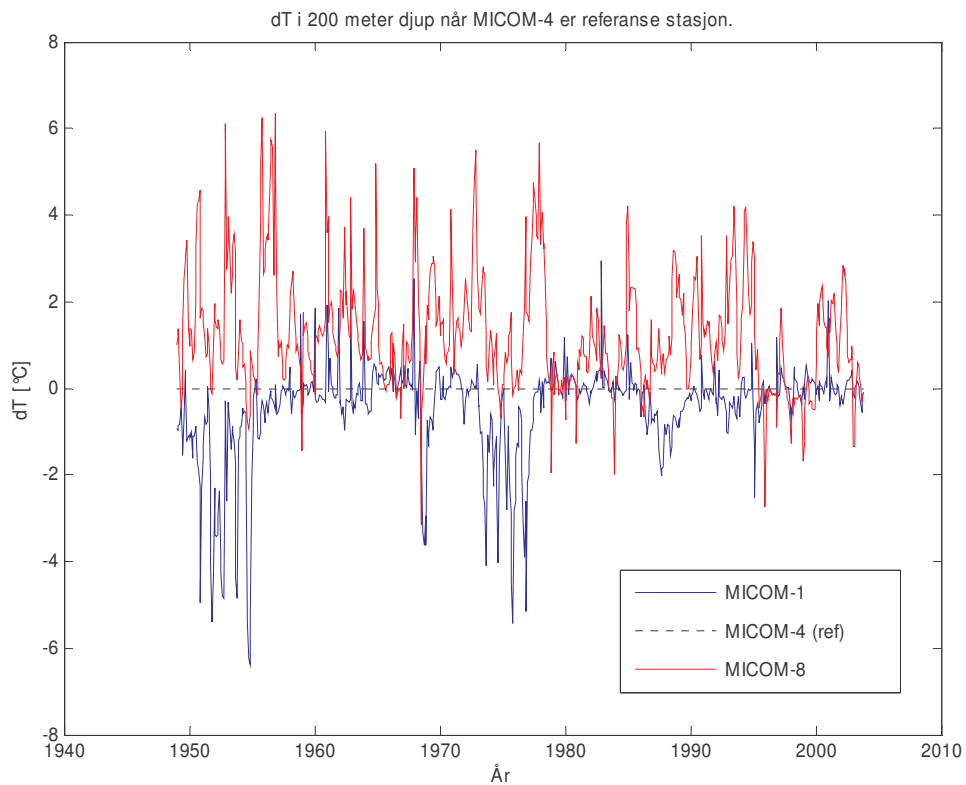
Figur 13: Vertikalt temperatursnitt [$^{\circ}\text{C}$] langs 66'nord i mars 1983. Posisjonen til stasjon MIKE er merka som M i figuren. Dei vertikale stolpene markerer ca. posisjonen til MICOM-1 og MICOM-8 i figur 13.



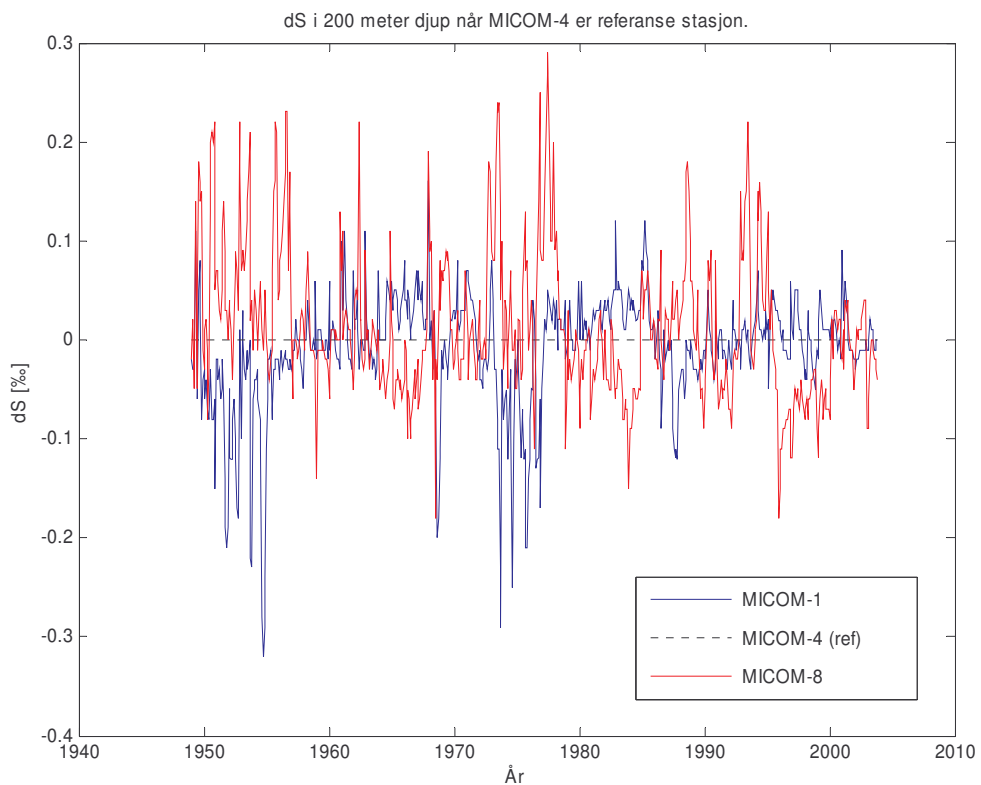
Figur 14: Vertikalt saltsnitt [%] for MICOM stasjonane i mars 1983. Avstanden mellom kvar stasjon (gridpunkt) er ca. 20km.



Figur 15: Vertikalt saltsnitt [%] langs 66° nord i mars 1983. Posisjonen til stasjon MIKE er merka som M i figuren. Dei vertikale stolpene markerer ca. posisjonen til MICOM-1 og MICOM-8 i figur 15. Legg merke til at figuren har same eininga på aksane som i figur 12; x-aksen i «km», y-aksen i «dbar».



Figur 16: Figuren viser korleis temperaturen har variert på stasjon 1 (mot havet) og stasjon 8 (nærmast Norskekysten) i høve til stasjon 4 (nærmast MIKE) i 200 meter djup. Stasjon 2, 3, 5, 6 og 7 er ikkje med i figuren, men dei oscillerer innanfor yttergrensene som stasjon 1 og stasjon 8 utgjer.

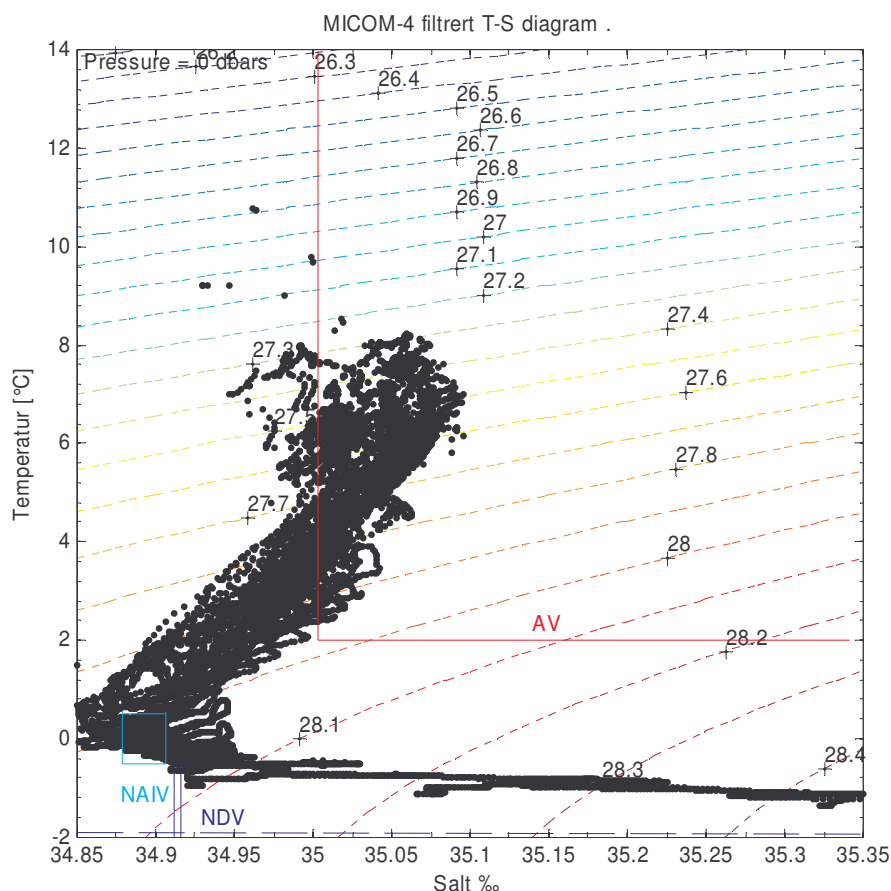


Figur 17: Figuren viser korleis saltinnhaldet har variert på stasjon 1 (mot havet) og stasjon 8 (nærmast Norskekysten) i høve til stasjon 4 (nærmast MIKE) i 200 meter djup. Stasjon 2, 3, 5, 6 og 7 er ikkje med i figuren, men dei oscillerer innanfor yttergrensene som stasjon 1 og stasjon 8 utgjer.

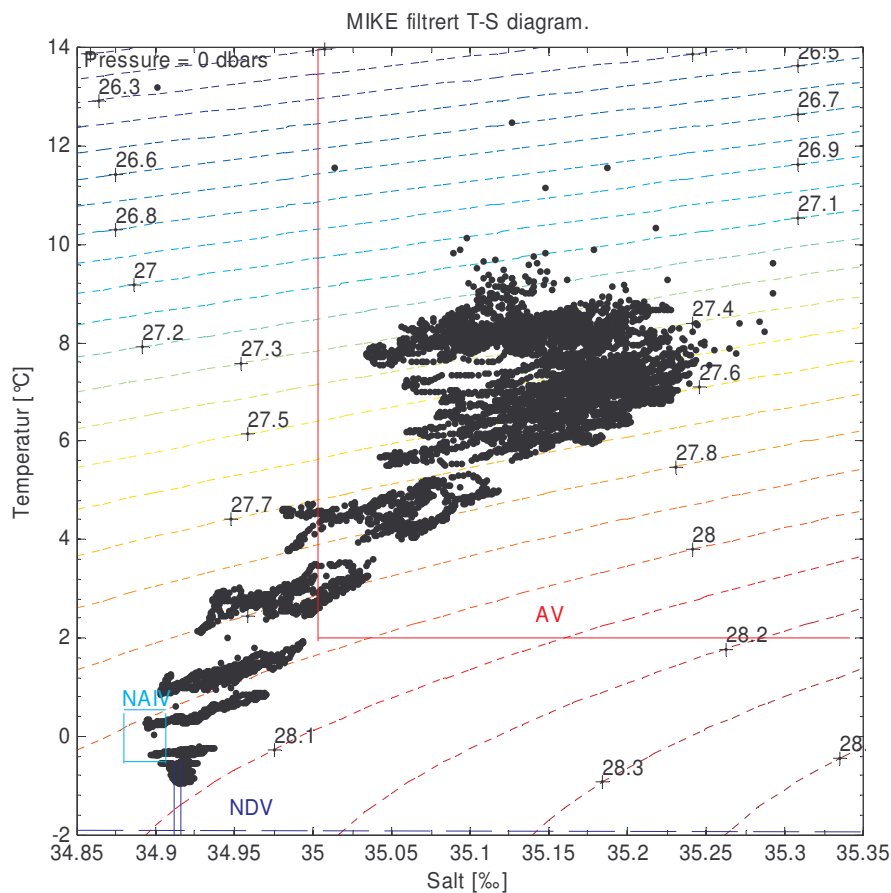
5.2 Vassmassar

Datasettet til MICOM og MIKE, som begge består av ein tidsserie av månadsgjennomsnitt, blei brukt til å lage filtrerte TS-diagram. Dei tre vassmassane klassifisert i tabell 1 fann me i ulike mengde i diagramma. Ingen av MICOM sine TS-diagram gav salt nok atlantisk vatn i øvste del av vassøyla.

MICOM-4 (figur 18) gjev umiddelbart eit noko kaldare og ferskare inntrykk enn MIKE (figur 19). Den lågaste temperaturen assosiert med atlantisk vatn er den same, litt over 2°C, men innslaget av det (saltinnhald $>35.0\text{‰}$) er for lite i modellen i høve til MIKE. Talet på observasjonar av norsk arktisk intermediært vatn er stort for MICOM-4 mens MIKE har færre målingar av vassmassen. Før me samanliknar norskehavts djup vatn ser me på spennet i temperatur og salt verdier til majoriteten av punkta. Temperaturen til MICOM-4 spenner seg grovt sett frå -1°C til litt over 8°C, og dette er ganske likt MIKE sitt spenn frå -1°C til litt over 9°C. For saltet er situasjonen meir komplisert då vatnet blir urealistisk salt i dei djupaste laga til MICOM-4. I vatnet som er tyngre enn $28.1\sigma_t$ oppstår det ustabilitetar der vatnet blir lettare enn det som ligg over (figur 16). Me vel derfor å sjå bort frå den biten av det modellerte vatnet her. Saltspennet til MICOM-4 er dermed frå mindre enn 34.85‰ til 35.08‰, og for MIKE er det frå 34.89‰ til 35.25‰. Det betyr at MICOM-4 si vassøyle generelt er for fersk, utanom i dei store djupa der merkelege ting hender med saltinnhaldet. Vidare i oppgåva kuttar me av den delen av MICOM vassøyla som er under 2000 meter i figurane.



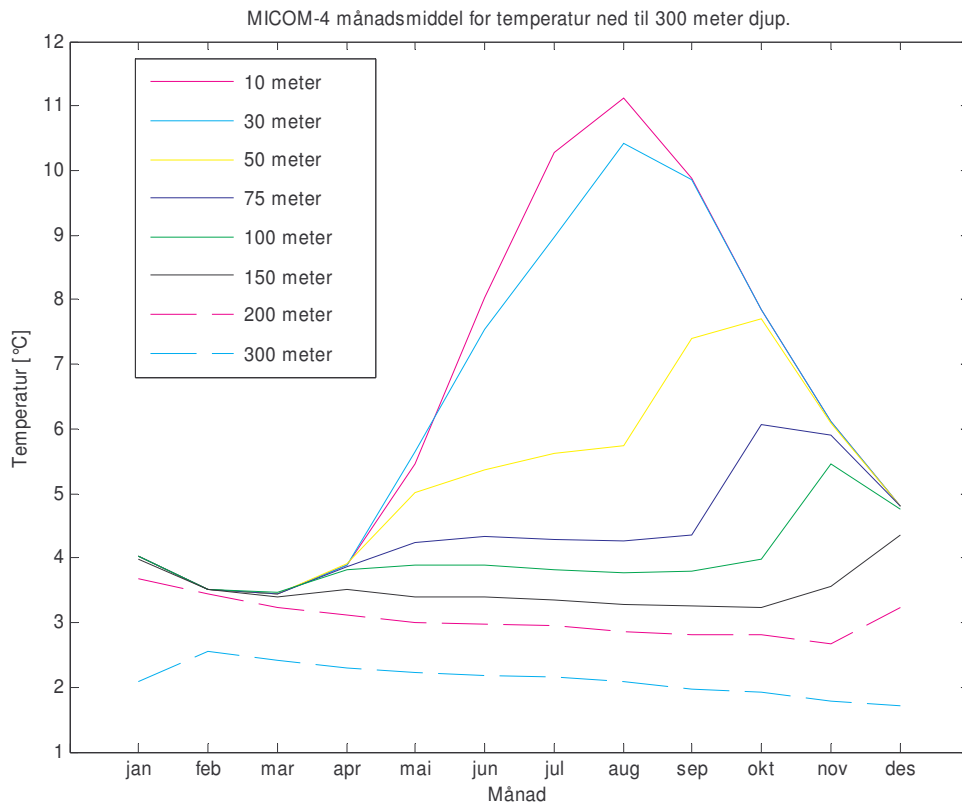
Figur 18: Eit T-S diagram der alle månadsgjennomsnitta av temperatur og salt frå MICOM-4 i perioden 1949-2003 er køyrd igjennom eit glidande filter (runavg) som midlar over 37 månadar. Datasettet går ned til 2500 meter djup. Grensene til vassmassane i tabell 1 er avmerka.



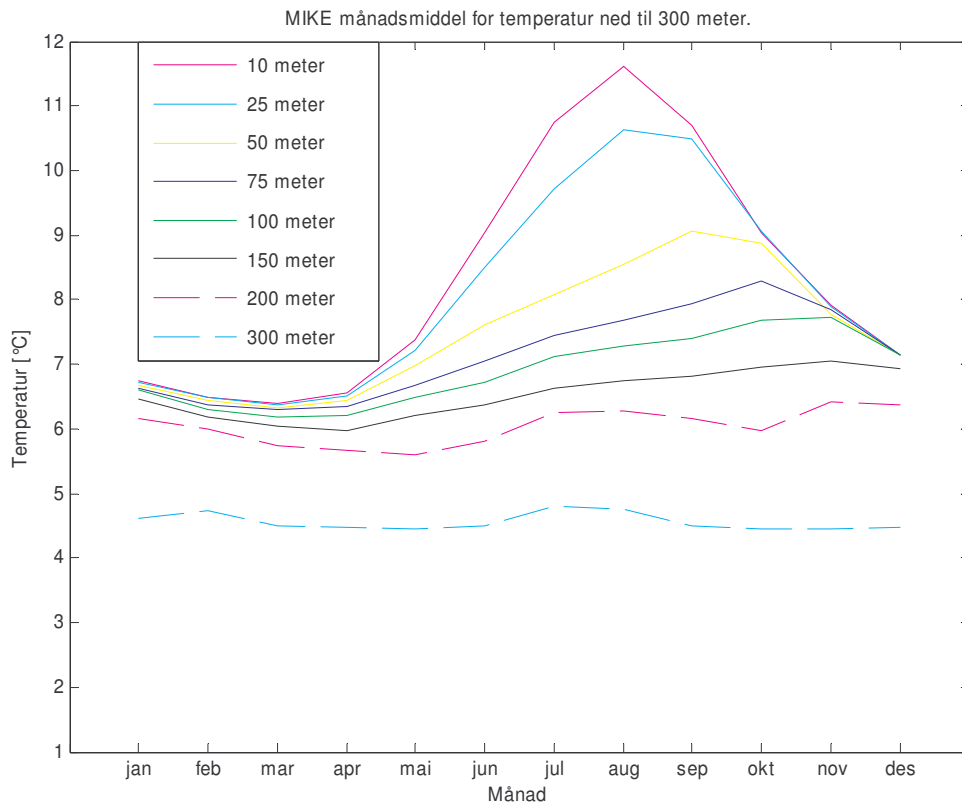
Figur 19: Eit T-S diagram der alle månadsgjennomsnitta av temperatur og salt frå MIKE i perioden 1948-2004 er køyrd igjennom eit glidande filter (runavg) som midlar over 37 månadar. Datasettet går ned til 2000 meter djup. Grensene til vassmassane i tabell 1 er avmerka.

5.3 Sesongvariasjon

Me kalkulerte gjennomsnittleg månadstemperatur og månadssaltinnhald for MICOM-4 og MIKE ned til og med 300 meter (figur 20, 21, 22 og 23). I kapittel 3.2 såg me at under 300 meter forsvann sesongsignalet til MIKE. Me antar at dette gjeld for MICOM-4 og ser på sesongsyklusen i det området. MICOM-4 har eit overdrive tydeleg temperatur sesongsignal. Det er kaldt mot enden av vinteren (februar/mars) og varmt om sommaren (juli/august/september) (figur 20). Vinteren i MICOM-4 er ca 2-3°C kaldare enn MIKE (figur 21), og i 300 meter djup er MICOM-4 2.5-3°C for kald heile året. Modellen treffer maksimumstemperaturen om sommaren bra for dei øvste 30 meterane, under er det fortsett for kaldt. Oppvarmingssignalet blir fortare svekka med djupet i MICOM-4 enn i MIKE på grunn av det kaldare underliggjande vatnet. MICOM-4 sitt temperatursignal brukar likevel omlag same tida for å nå dei ulike standarddjupa som me observerer ved MIKE.



Figur 20: MICOM-4 sin sesongvariasjon for temperatur i perioden 1949-2003.



Figur 21: MIKE sin sesongvariasjon for temperatur i perioden 1948-2004.

I februar er saltinnhaldet i dei øvste 200 meterane til MICOM-4 tilnærma konstant 35.01‰ (figur 22). Små forskjellar mellom djupa ser me allereie i mars, og desse forskjellane veks utover våren. Maksimum saltinnhald finn me i februar for 200 og 300 meter laget, i april for 100 og 150 meter laget, og i mai for 10 og 50 meter laget. Sidan minkar saltinnhaldet og saltminimumet finn me først i september for 10 meter laget, og sist og nedst i desember i 300 meter laget.

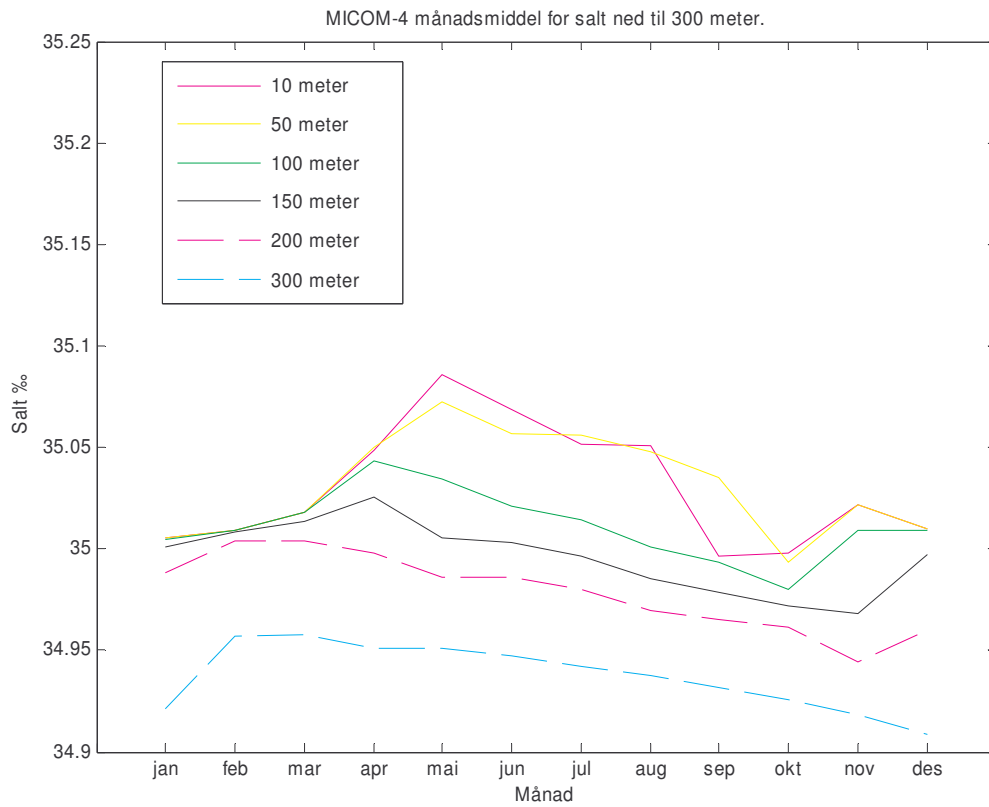
Øvste 200 meterane til MIKE har eit spenn i saltinnhaldet i mars frå 35.12‰ til 35.17‰ (figur 23), dvs. nokså like saltverdiar, men det er ikkje eit konstant saltinnhald frå 200 meter opptil overflata slik som i MICOM-4. Vidare utover våren og sommaren aukar forskjellane i saltet til MIKE. 100, 150 og 200 meter laga har høgaste saltverdi i august, 50 og 300 meter laga har det i juli, og 10 meter laget har sitt maksimum i mai og minimum i august.

Månadane med observert og modellert minimums- og maksimumsverdiar er sett inn i ein tabell (tabell 2) for enklare å kunne sjå avvik. I tabellen har atlantisk vatn rosa bakgrunn og ikkje atlantisk vatn har blå farge. Månadane der forskjellane i observasjon og modell skil seg ut har ei ekstra tjukk ramme rundt seg.

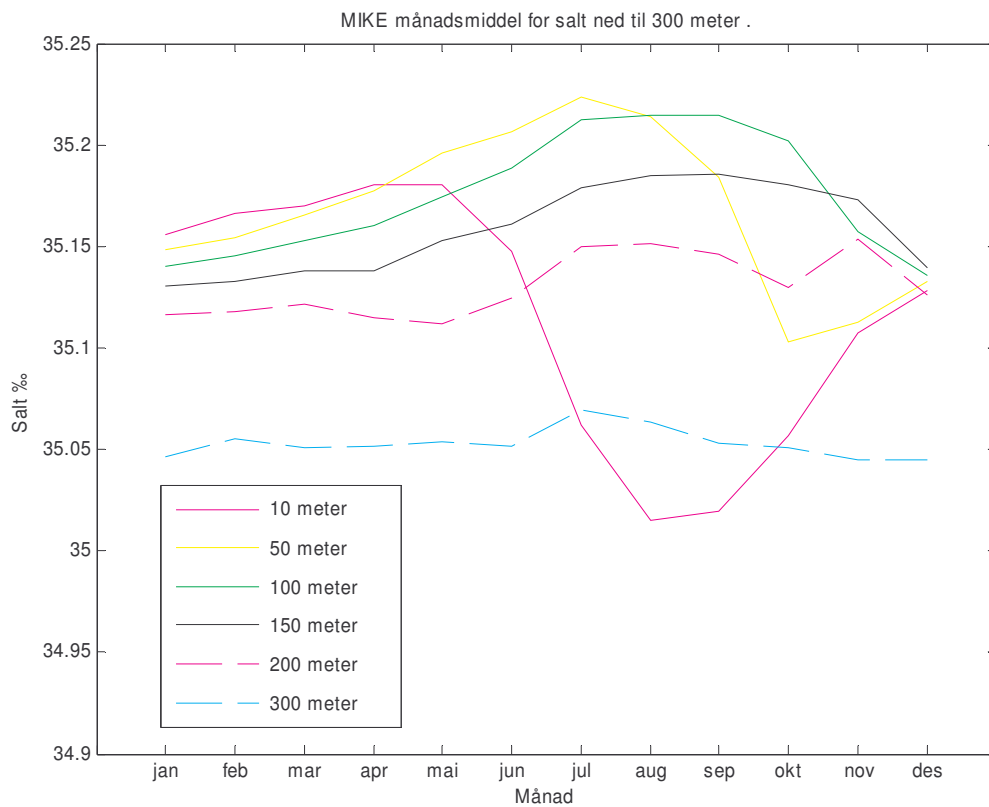
Tabell 2: Oversikt over kva månader som har minimums- og maksimumsverdien ved MICOM-4 og MIKE. Rosa bakgrunn angjev atlantisk vatn, blå bakgrunn betyr ikkje atlantisk vatn. Konfliktområde mellom modell og observasjonar er satt i utheva rammer.

Djup [m]	Minimumsverdi				Maksimumsverdi			
	Temperatur		Salt		Temperatur		Salt	
	MIKE	MIC-4	MIKE	MIC-4	MIKE	MIC-4	MIKE	MIC-4
10	mars	mars	juli/aug	sept/okt	august	august	mai	mai
25 / 30	mars	mars	---	---	august	august	---	---
50	mars	mars	oktober	oktober	sept	oktober	juli	mai
75	mars	mars	---	---	oktober	oktober	---	---
100	mars	mars	desember	oktober	november	november	august	april
150	april	oktober	januar	november	november	desember	august	april
200	mai	november	januar	november	november	januar	august	februar
300	april/mai	desember	des/jan	desember	feb/juli	februar	juli	februar

Vinterkonveksjonen i modellen går djupast i månadsskiftet februar/mars i likskap med MIKE. Det er openbart at MICOM-4 sin maksimumstemperatur er styrt av mottatt solinnstråling i sommarmånadane. Utanom den øvste delen av vassøyla som blir oppvarma av sola om sommaren er MICOM-4 for kald året rundt. Temperatur syklusen mellom 150-300 meter er motsett i modell og observasjonar (tabell 2). MIKE er i tillegg sterkt prega av den varme, salte kjernen med atlantisk vatn om sommaren (figur 5). Denne kjernen finn me ikkje hjå MICOM-4 (tabell 2), ei heller det varme, men ferske kystvatnet i dei øvste 75 meterane i juli/august (figur 22). MICOM-4 sitt saltminimum kjem først i september/oktober (tabell 2), og her har nesten ikkje MICOM-4 vassøyla atlantisk vatn i det heile tatt (figur 22). Dei øvste 300 meterane hjå MIKE består kun av atlantisk vatn minus kystvatnet heilt oppe i overflata (figur 5). Saltet sitt sesongsignal lar seg ikkje gjenkjenne ved MICOM-4 då vassmassane som skulle styre saltsyklusen manglar.



Figur 22: MICOM-4 sin sesongvariasjon for salt i perioden 1949-2003.



Figur 23: MIKE sin sesongvariasjon for salt i perioden 1948-2004.

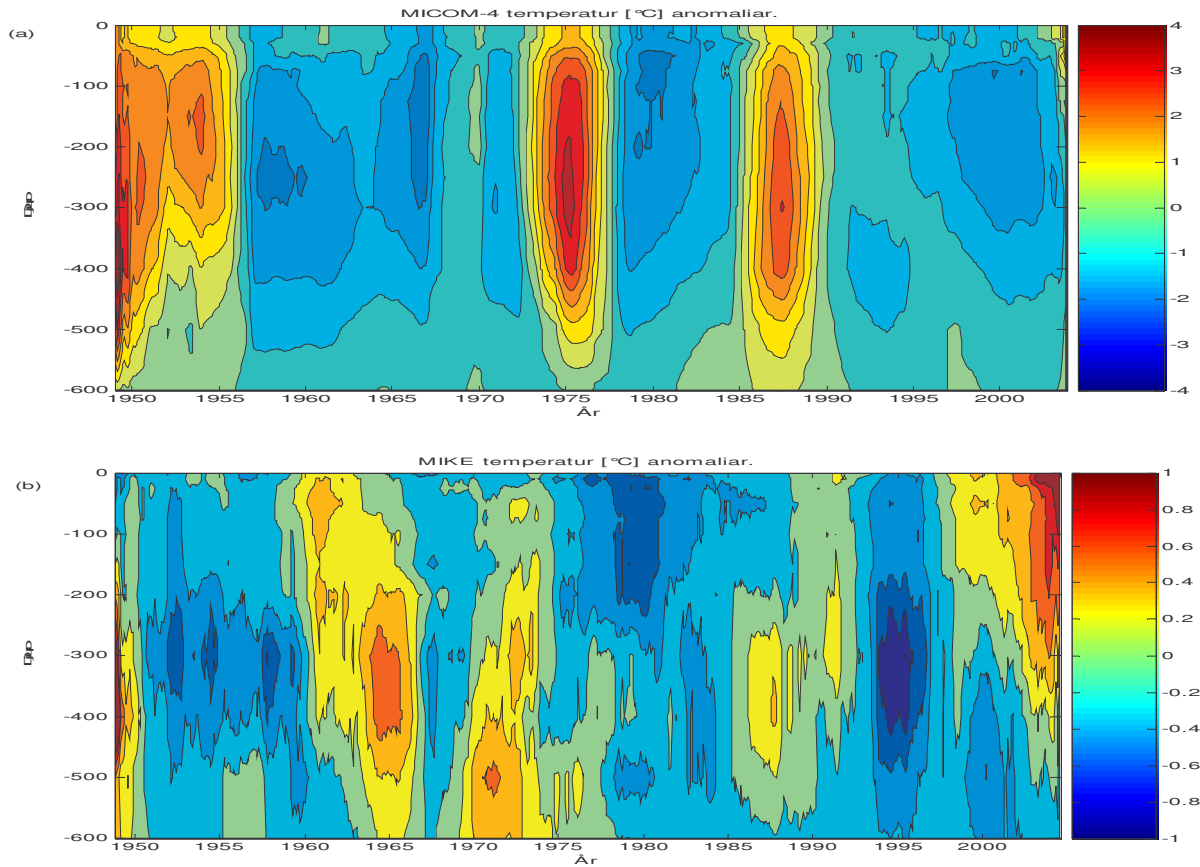
5.4 Lange tidsseriar

Det blei laga tilsvarende anomaliar for MICOM-4 som for MIKE (metoden står forklart i kapittel 3.3). Anomaliane strekker seg omtrent over same tidsserien (1949-2003). Umiddelbart ser me at skalaen til anomaliane er mykje større hjå MICOM-4 enn MIKE (figur 24, 25, 26 og 27) slik at variasjonane har større utslag i modellen. I likskap med MIKE er variasjonane til MICOM-4 tydelegast over 600 meter viss me ser bort ifrå saltet si utvikling nede i djupet (figur 27a).

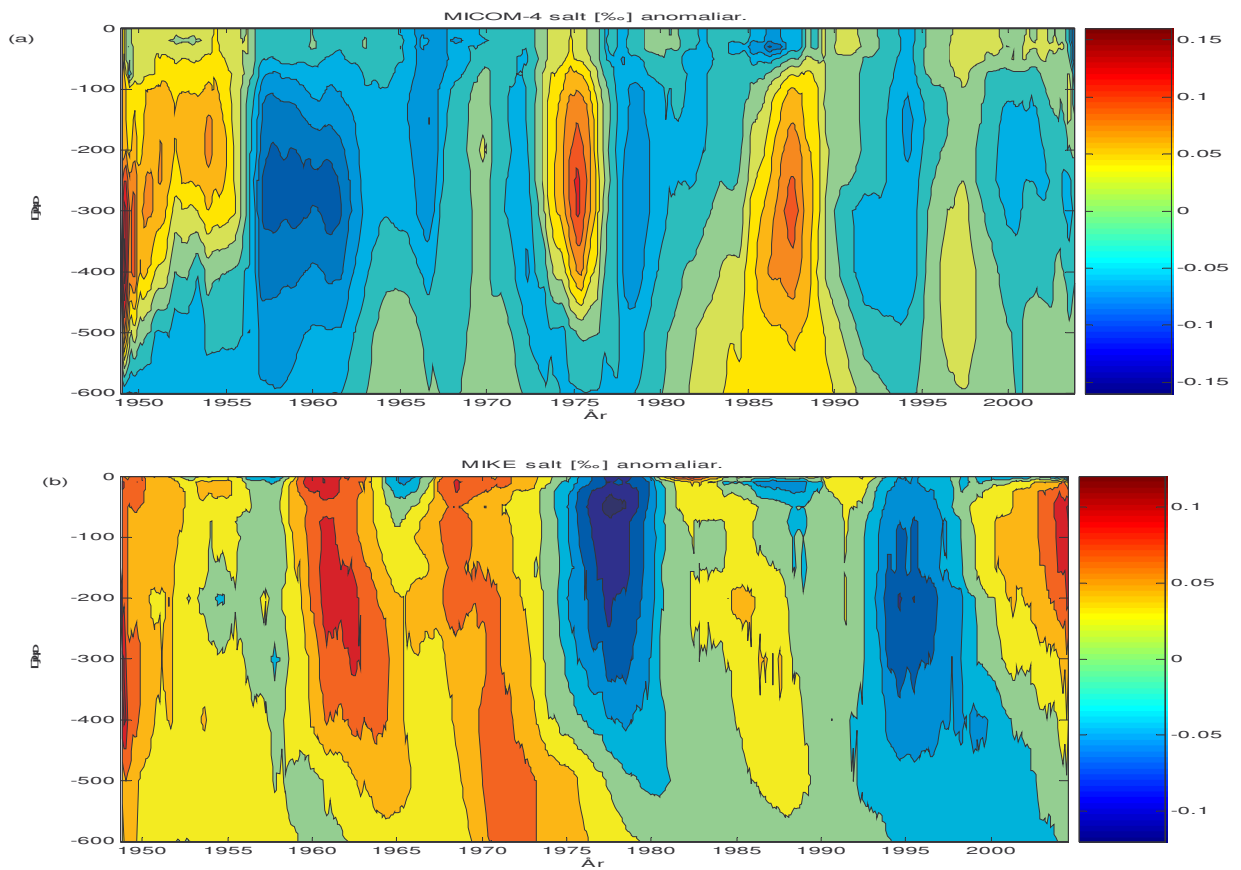
MICOM-4 sine øvste 600 meter har ein varm og salt periode frå starten av tidsserien fram til midten av 50-åra. Det er også ein varm, salt periode rundt 1975 og siste halvdel av 80-åra (figur 24a og 25a). Mellom desse periodane er vatnet kaldt og ferskt. MICOM-4 startar tidserien sin rett samanlikna med MIKE (figur 24b). Men den varme, salte perioden i 200-500 meter i begynninga av serien varer 5 år for lenge i modellen. Vidare stemmer modell resultata over 600 meter dårleg overeins med observasjonane frå MIKE. Det er ingen varm, salt periode å sjå rundt 1975, ei heller i siste del av 80-åra ved MIKE (figur 24b og 25b). Om den kalde, ferske perioden på slutten av 70-talet og starten av 80-talet er eit avtrykk frå den store ferskvassforstyringa (GSA) i modellen (figur 25a) er vanskeleg å seie. Episoden skil seg ikkje nok ut i høve til dei andre saltminimума til MICOM-4 og vassmassen ligg for djupt. Det kan også vere GSA me ser seinare i tidsserien heilt i overflata rundt 1985 (figur 25a).

Nede i det modellerte norskehavs djup vatnet, mellom 1000 og 2000 meter, er vatnet i hovudsak varmt og ferskt fram til midten av 80-talet, deretter startar kaldt og salt vatn å trengje oppover ifrå 2000 meter (figur 26a og 27a). Temperaturutviklinga til MICOM-4 (figur 26a) har dermed stikk motsett trend av MIKE (figur 26b). I MICOM-4 begynner det varmt og ender kaldt medan MIKE begynner kaldt og ender varmt. Å samanlikne salt resultata verkar meiningslaust då djup vatnet (typisk saltinnhald = 34.91‰) ved MIKE (figur 27b) uansett ikkje har så store saltvariasjonar som me ser i MICOM-4 (figur 27a).

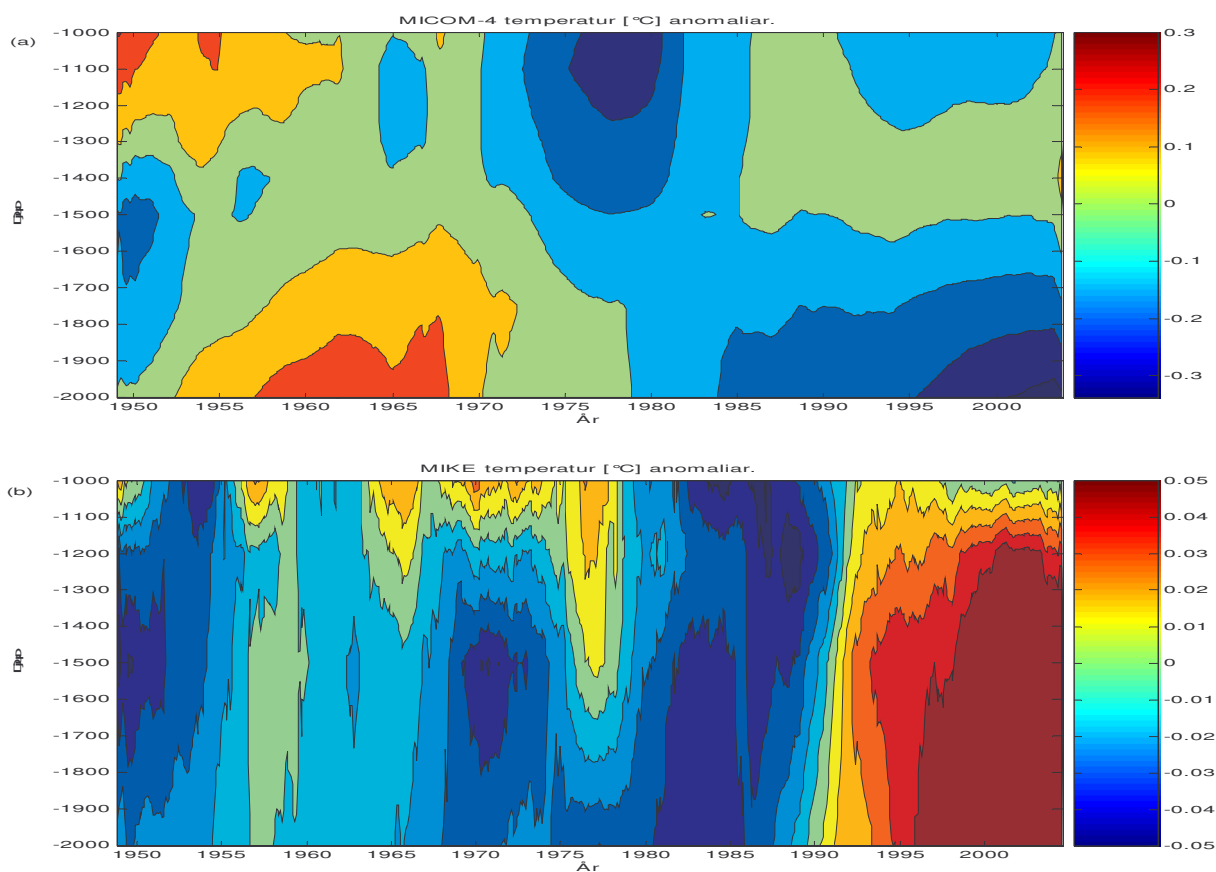
Kontrollerte også anomaliane til MICOM-1 og MICOM-8 utan at dette gav betre resultat. I øvste 600 meterane av vassøyla blei utfallet temmeleg likt MICOM-4. I dei nedste 1000 meterane blei MICOM-1 anomalien litt annleis med mindre amplitude enn MICOM-4, men likevel feil i høve til det observerte. MICOM-8 har ikkje data under 1200 meter då denne stasjonen ligg nærmast kysten og botnforholda har endra seg.



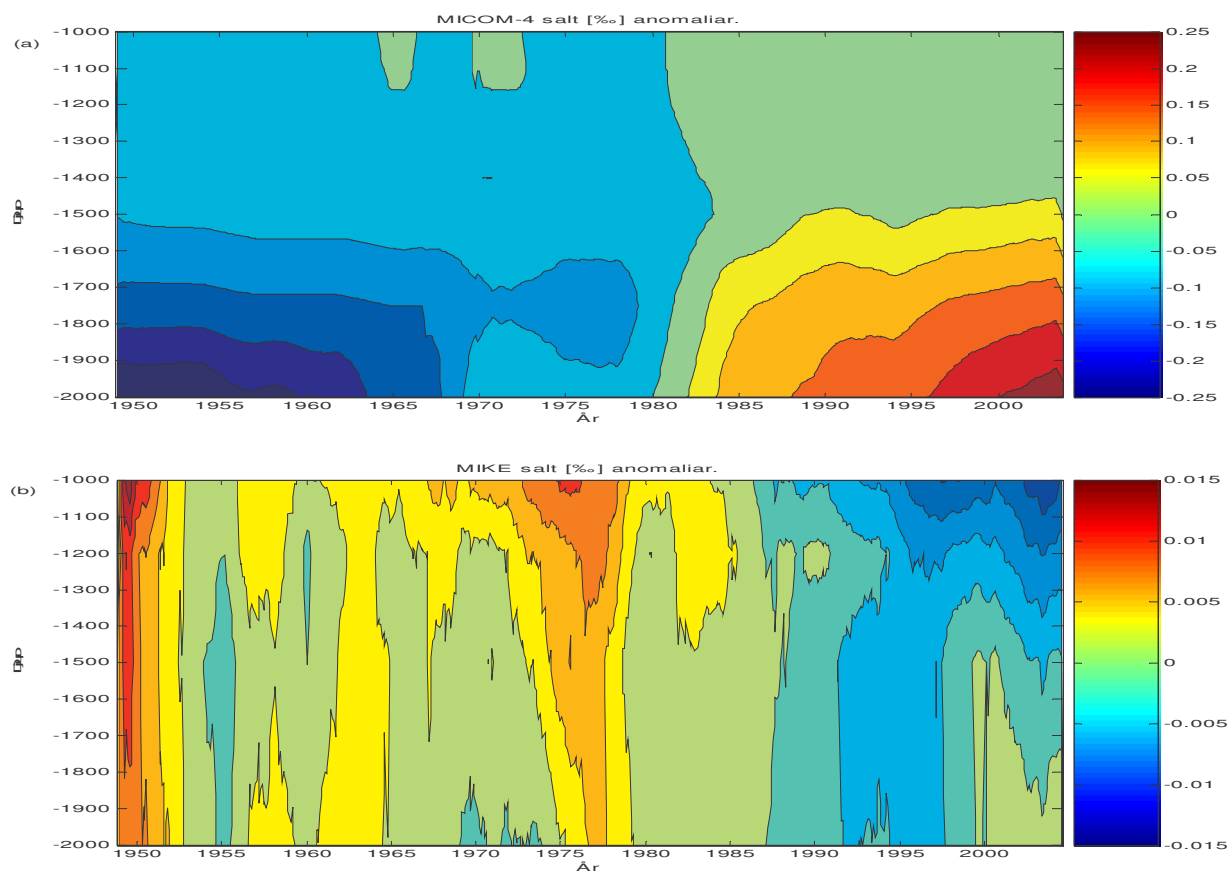
Figur 24: Temperatur anomalier ned til 600 meter djup for (a) MICOM-4 (1949-2003) og (b) MIKE (1948-2004). MIKE sine anomalier blei også vist i kapittel 3.3. y-aksen er i meter.



Figur 25: Salt anomalier ned til 600 meter djup for (a) MICOM-4 (1949-2003) og (b) MIKE (1948-2004). MIKE sine anomalier blei også vist i kapittel 3.3. y-aksen er i meter.



Figur 26: Temperatur anomalier mellom 1000-2000 meter djup for (a) MICOM-4 (1949-2003) og (b) MIKE (1948-2004). MIKE sine anomalier blei også vist i kapittel 3.3. y-aksen er i meter.



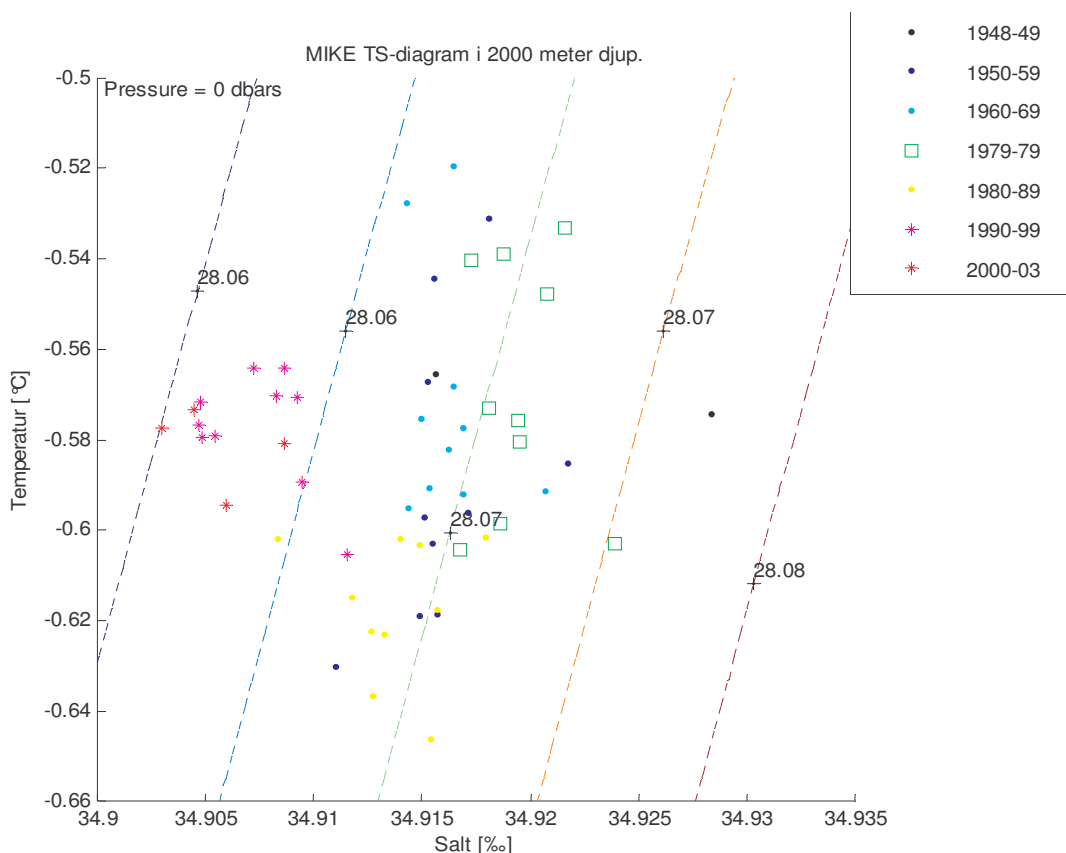
Figur 27: Salt anomalier mellom 1000-2000 meter djup for (a) MICOM-4 (1949-2003) og (b) MIKE (1948-2004). MIKE sine anomalier blei også vist i kapittel 3.3. y-aksen er i meter.

6 Vidare diskusjon

6.1 MIKE i 2000 meter

Me ønskjer å sjå nærmare på kva som hender i 2000 meter djupet ved MIKE. Nilsen (2003) skriv at isopyknalene i djupet ved MIKE hever seg til ein topp i 70-åra, og senker seg deretter til enden av serien hans i 1999. Hevinga skuldast intensivert danning av djup vatn i Grønlandshavet i 60- og tidleg 70-talet som blir advektert langs 2000 meter djubdekonturen («isobath»). I løpet av 70-talet stansar djupvassdanninga i Grønlandshavet (Schlosser et al., 1991) og dette gjev varmare og lettare vatn i djupet. Resultatet er ei senking av isopyknalene og den observerte temperaturauken ved MIKE frå om lag 1986. Spreiinga av varmen oppover i vassøyla blir i starten noko skjult av den kjølande trenden i det intermediære vatnet (400-1200 meter).

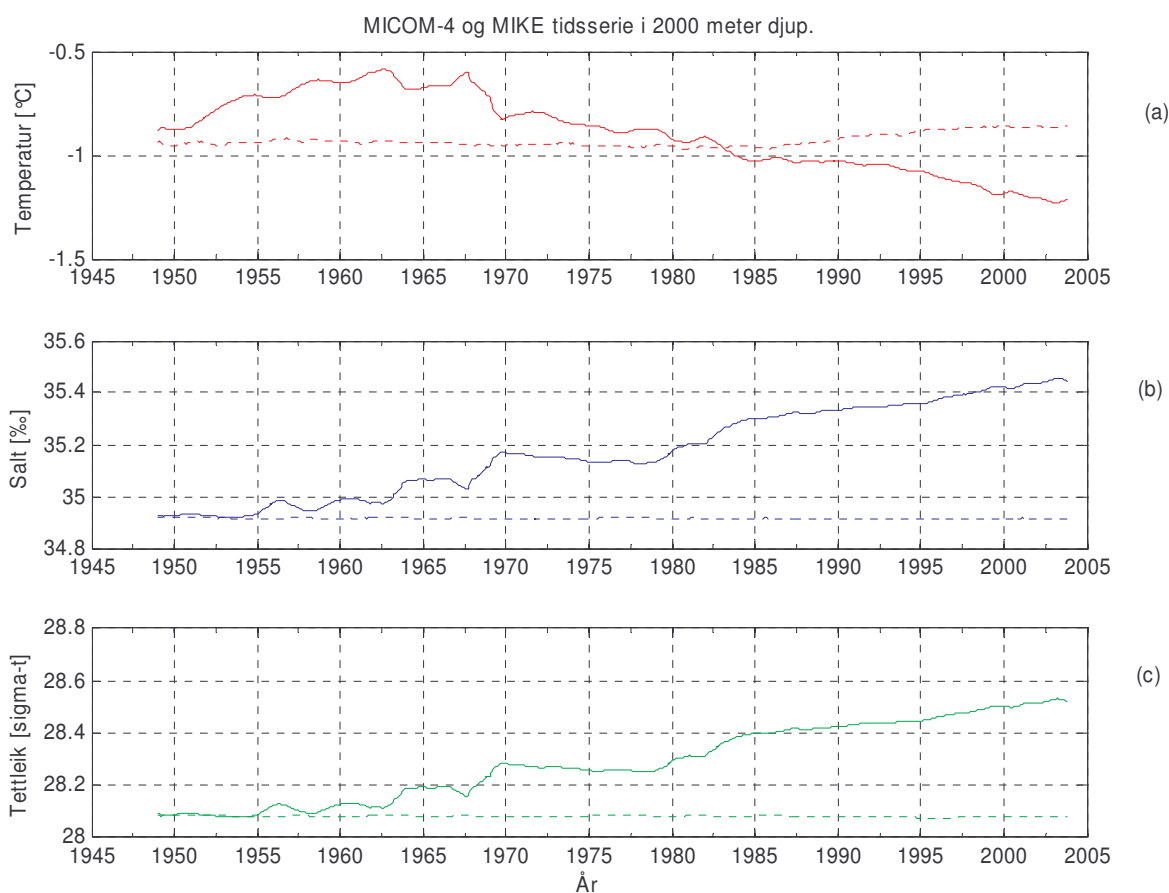
Me plottar årsmidlane til MIKE i eit TS-diagram og lar punkta endre farge etterkvart som tida går (figur 30). Tettleiken har vore nokså konstant på mellom 28.06-28.07 σ_t . Det er mogleg, med god vilje, å sjå at 70-talet har litt tyngre vatn enn 60- og 80-talet. Frå 90-talet blir vatnet varmare, men ferskare. Legg merke til at årsmidlane viser at det også tidlegare har vore like varmt, dog ikkje så ferskt. Denne reduksjonen i saltinnhaldet kombinert med temperaturen medfører at vatnet blir lettare, og tettleiken er her rett over 28.06 σ_t . I figur 8c ser me korleis det etter år 2000 begynner å presse vatn med høgare saltinnhald enn det som råda på 90-talet oppover frå 2000 meter djupet. Viss dette fortsett vil tettleiken auke og isopyknalene til MIKE vil igjen heve seg.



Figur 28: MIKE TS-diagram med tettleikslinjer i 2000 meter djup. Punkta plotta i figuren er årsmidler i perioden 1948-2003 og endrar farge med tidsaksen.

6.2 MICOM i 2000 meter

I kapittel 5.2 såg me at nede i djupet til MICOM-4 oppførte saltet seg merkeleg (figur 18). Me plotta opp ein glatta tidsserie av MICOM-4 og MIKE for temperatur, salt og tettleik i 2000 meter djupet (figur 29). Utgangspunktet til modellen i 1949 er bra i forhold til MIKE for både temperatur, salt og tettleik. Etter kvart som tida går ligg alle MIKE sine verdiar stabilt samanlikna med MICOM-4. Modelltemperaturen veks mot ein topp i 1963, og held seg for varm fram til ca.1980. Den kryssar aldri den øvre temperatur grensa til norskehavs djup vatnet på -0.5°C . Etter 1990 blir modellen for kald og samstundes har MIKE ein svak positiv temperatur trend (figur 31a). Me ser at saltet dominerer tettleiken til MICOM-4 i djupet (figur 31b og 31c). Saltet og tettleiken er lik MIKE i førstninga, men allereie ifrå 1955 aukar saltinnhaldet i modellen i høve til MIKE. Utviklinga har fort ingenting med røyndommen å gjere og blir verre og verre ettersom tida går. Her må det vere ein feil i modellen som gjer seg gjeldande. MICOM-1 er også blitt sjekka med omtrent same resultat. Kva feilen er kan eg ikkje svare på, men utifrå anomaliane til MICOM-4 ser det ut som om feilen spreier seg frå laga nærmast botn og opp mot 1400 meter djup (figur 26a og 27a). Kontrollerte modellert saltutvikling i 1000 meter (ikkje vist her) då dette djupet også bør representere norskehavs djup vatn. Saltverdiene varierer mellom 34.98‰ og 34.95‰ for modellen, observasjonane er ikkje langt unna mellom 34.9‰ og 34.94‰ . Problemet er at observert salttrend er negativ medan modellert salttrend er positiv. I tillegg er den modellerte temperaturen i 1000 meter både altfor høg og med for stor amplitude, frå -0.55°C til 0.1°C , der observasjonane ligg frå -0.65°C og opp mot -0.5°C .



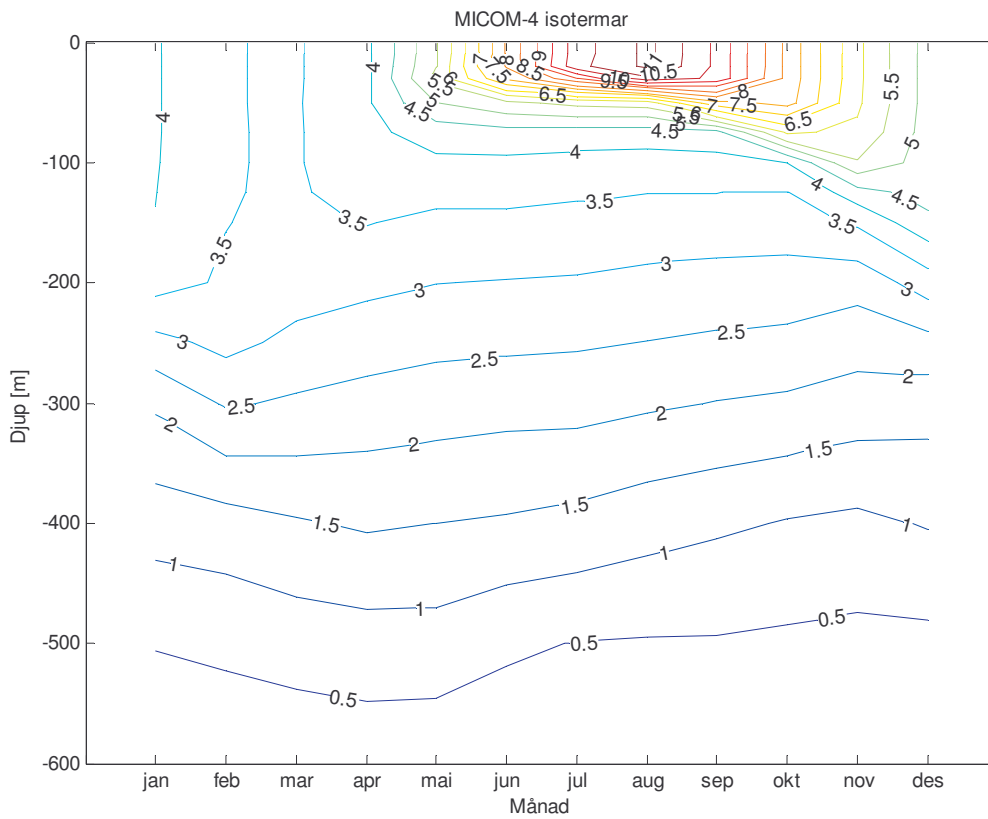
Figur 29: MICOM-4 (heiltrekt linje) og MIKE (stipla linje) sin (a) temperatur (raud), (b) salt(blå) og (c) tettleik (grøn) utvikling i 2000 meter djup. Alle kurvene er køyrd gjennom eit glidande middel ("runavg") som midlar over 13 månadar og glattar ut kurva.

6.3 Meir om sesongvariasjonen til MICOM

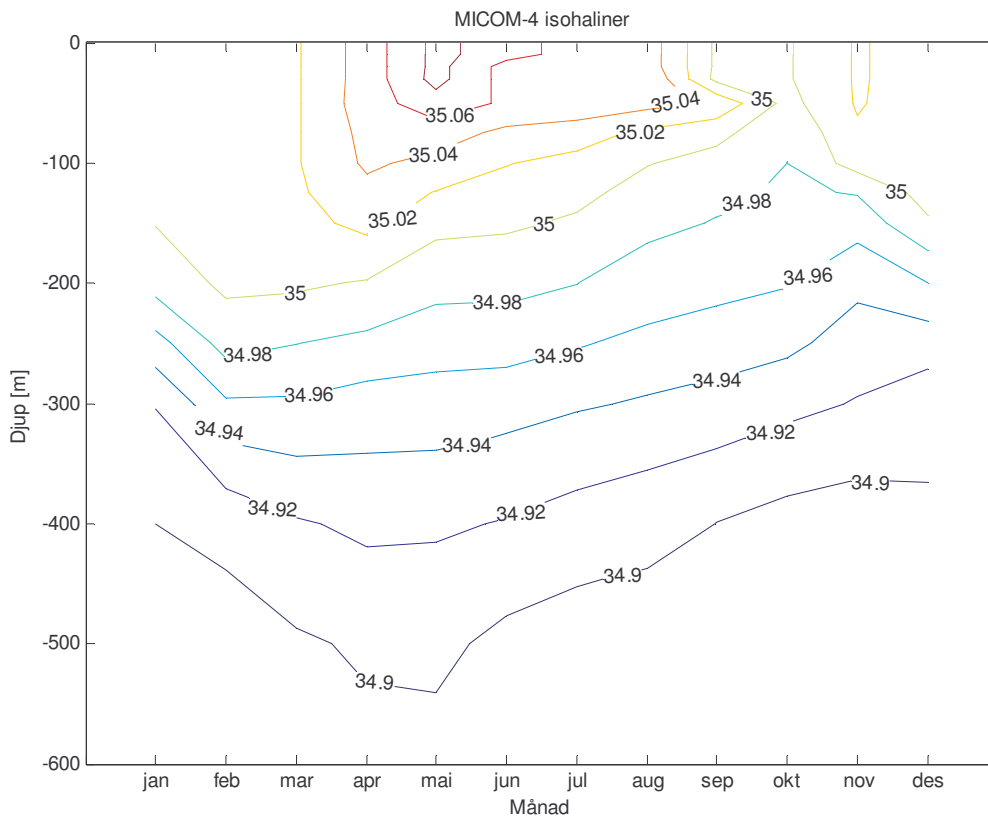
Me antok i kapittel 5.3 at sesongvariasjonen til MICOM-4 var avgrensa til dei øvste 300 meterane i likskap med MIKE. Plotta opp modellen sine midla månadsprofil, ned til 1000 meter, for å kontrollere. Det viste at antakinga var feil. MICOM-4 har større temperaturvariasjon enn MIKE under 300 meter, men det er det modellerte saltet som skil seg mest ut. Dei midla månadssaltprofilane til MICOM-4 har sesongvariasjon ned til det doble djupet, altså 600 meter .

Vel å sjå på MICOM-4 sesongvariasjonen ved hjelp av isotermer og isohaliner ned til 600 meter djup. Dette blei gjort for MIKE nedtil 300 meter i kapittel 3.2. I MIKE ligg både isotermer og isohalinene nokså stabilt i eit djup året rundt under 300 meter (ikkje vist her). Framstillinga av sesongsyklusen til MICOM-4 bekreftar funna i kapittel 5.3. Vinterkonveksjonen har sitt maksimum i månadsskiftet februar/mars og blandingslaget til MICOM-4 (figur 30 og 31) ser ut til å gå djupare enn i MIKE (figur 4 og 5). Stratifiseringa om sommaren på grunn av solinnstråling er klart avgrensa til øvste 100 meterane fram til september i modellen, mot ca 220 meter djup ved MIKE. Truleg er stabiliteten til MICOM-4 vassøyla mindre enn observert på grunn av det litle temperaturspranget frå overflata og nedover om vinteren (figur 20 og 21). Dette fører til djupare miksing og eit tjukkare modellert blandingslag. Saltmaksimumet til MICOM-4 i overflata i mai kan ein følgje ned til 34.9 isohalinen i 550 meter djup. Saltminimumet i september/oktober fører til at 34.9 isohalinen trekker seg oppover til 475 meter. Ein liknande heving av isohaliner finn me kun heilt i overflata til MIKE der 35.18 isohalinen vekslar mellom 25 meter djup om vinteren og 150 meter djup om sommaren (figur 5).

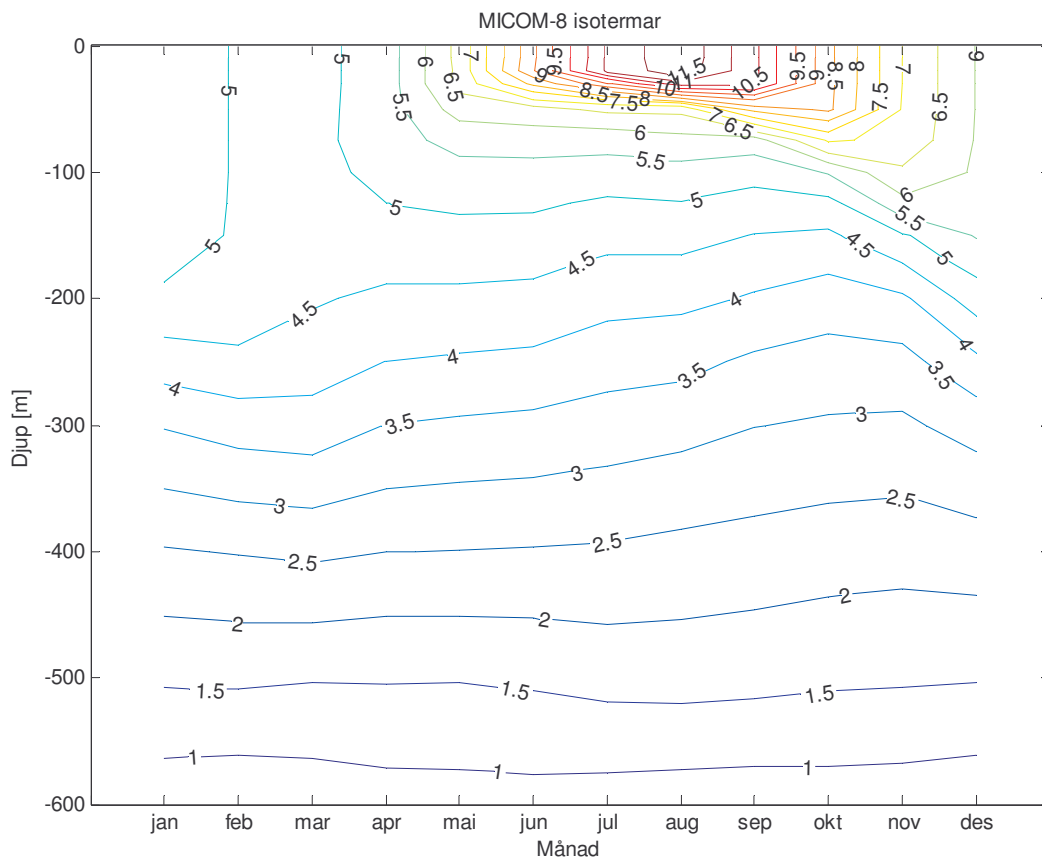
Såg på MICOM-1 og MICOM-8 på same måten. Resultatet for MICOM-1 var like feil, om ikkje verre enn MICOM-4, men nærmast kysten ved MICOM-8 såg det betre ut. Her er vassøyla generelt varmare og temperatur sesongsignalet gjekk berre ned til ca. 475 meter medan saltet fortsett varierar ned til 600 meter. Ved MICOM-8 finn me også kjernen med saltare vatn (35.04‰) omtrent mellom 50-90 meter djup midtsommars (figur 33). Det modellerte saltminimumet ser me tydeleg i overflata i september, ein månad seinare enn observert. Mønsteret til MICOM-8 sin sesongvariasjonen lar seg dermed godt gjenkjenne samanlikna med MIKE sjølv om det er nokre forskjellar mellom modell og observasjonane. Modellen er som tidlegare sagt for kald, fersk og sesongsignalet går for djupt.



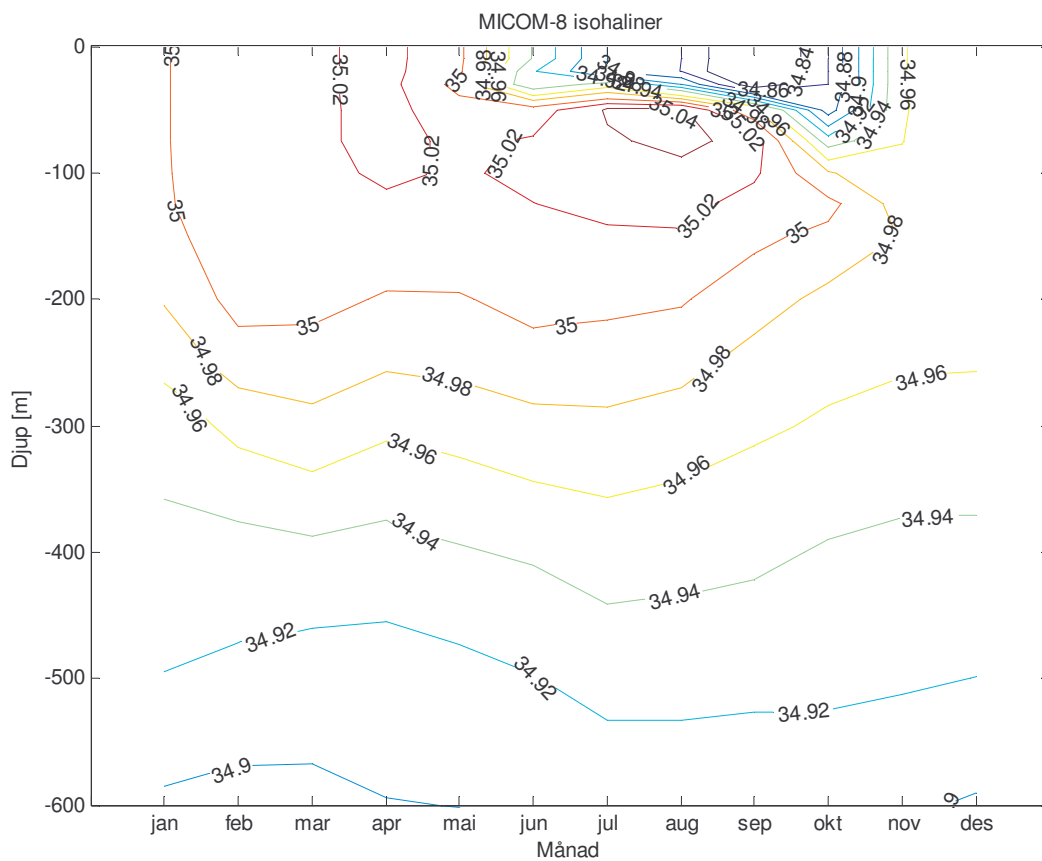
Figur 30: Isothermar [°C] ned til 600 meter ved MICOM-4.



Figur 31: Isohaliner [‰] ned til 300 meter ved MICOM-4.



Figur 32: Isotermar [°C] ned til 600 meter ved MICOM-8.



Figur 33: Isohaliner [‰] ned til 300 meter ved MICOM-8.

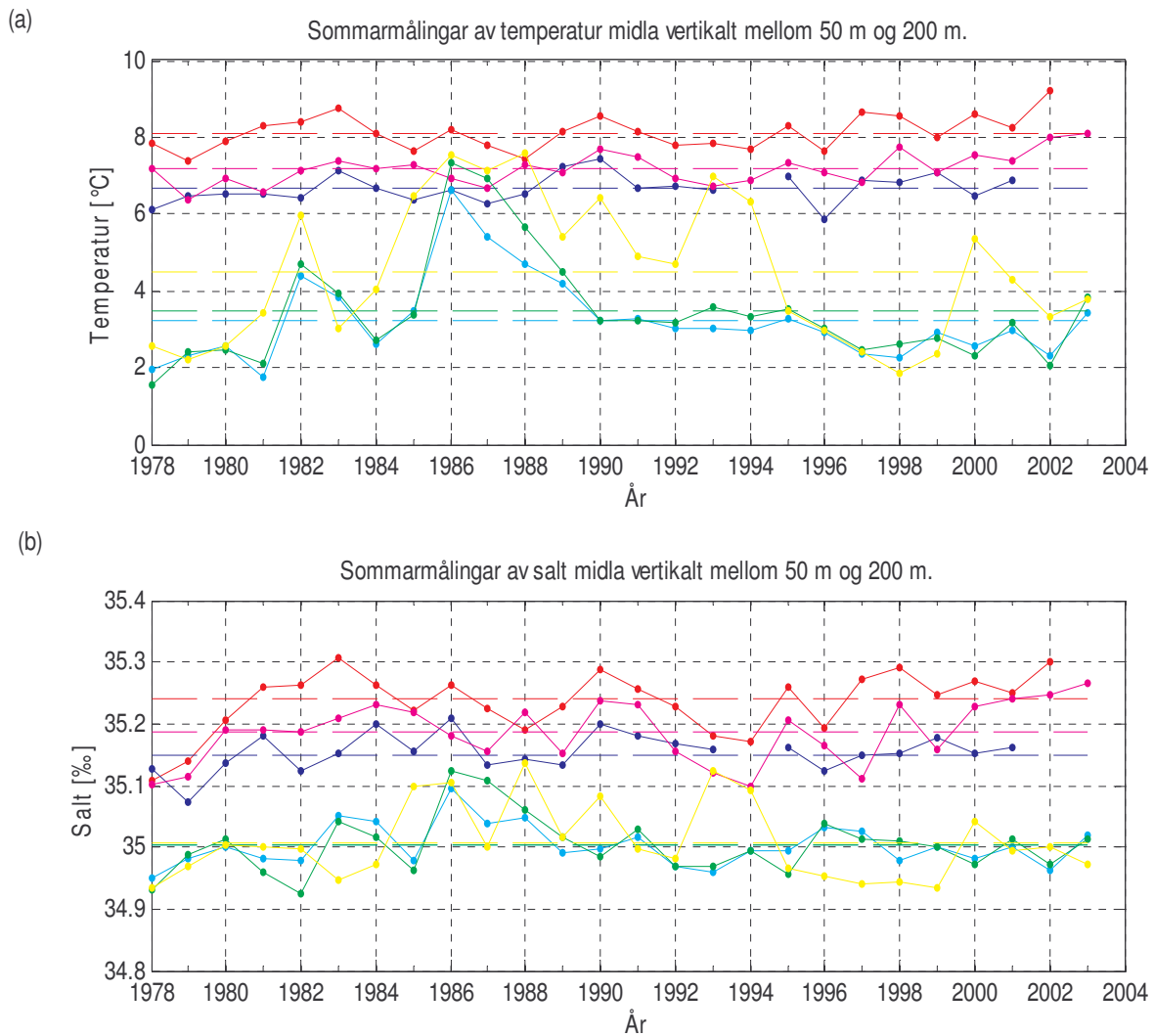
6.4 Utvikling i det atlantiske kjernevatnet, observasjonar og modell

I Blindheim (2004) er det ein tidsserie av temperatur og salt for Svinøy, Gimsøy og Sørkapp snitta. Serien viser den årlige variasjonen til det atlantiske kjernevatnet om sein sommaren i månadsskiftet juli-august. Verdiane til snitta er gjennomsnittet mellom 50 og 200 meter av tre stasjonar utanfor kontinentalskråninga. Svinøy snittet ligg sør for MIKE og Gimsøy snittet ligg nord for MIKE. Eg fekk låne Svinøy og Gimsøy dataa til Blindheim av Svein Østerhus, og plotta ein ny tilsvarande figur for Svinøy, MIKE, Gimsøy, MICOM-8, MICOM-4 og MICOM-1 (figur 34a og 34b). Det er gjennomsnittet til august, midla i dei aktuelle djupa, som er plotta for MIKE og MICOM stasjonane. Gjennomsnittstemperaturen for Svinøy, MIKE, Gimsøy, MICOM-8, MICOM-4 og MICOM-1 er høvesvis 8.12°C, 7.19°C, 6.67°C, 4.51°C, 3.46°C og 3.25°C. Vidare for salt er det etter tur 35.24‰, 35.19‰, 35.15‰, 35.01‰, 35.00‰ og 35.00‰.

MIKE plasserar seg som forventa mellom dei to snitta. Ved å følge observasjonane frå år til år ser me at Svinøy og MIKE har den lågaste saltverdien i 1978, Gimsøy kjem etter i 1979. Dette er den store ferskvassforstyringa (GSA) som passerar. Temperatur og salt stig heilt til 1983 for Svinøy, og til 1984 for MIKE og Gimsøy. Deretter er MIKE litt ute av takt med dei to snitta, men i 1990 er det ein distinkt topp (varmt og salt år) for alle tre. Det er i hovudsak nokre kalde og ferske år mellom 1992 og 1996, unntaket er 1995 der Svinøy, MIKE og Gimsøy er like over middelverdiane sine. Så overtar ein markant stigande trend ved Svinøy og MIKE. Serien er for kort til å sjå om Gimsøy kjem etter. Me kan no slå fast at stasjon MIKE skildrar og følgjer variasjonen til Svinøy- og Gimsøy- snitta. Alle tre registrerer først GSA, så ein varm periode tidleg i 80-åra og rundt 1990, følgt av nokre kalde år, og tilslutt ein stigande trend frå 1999. Observasjonane skjer enten simultant eller med forseinking nordover.

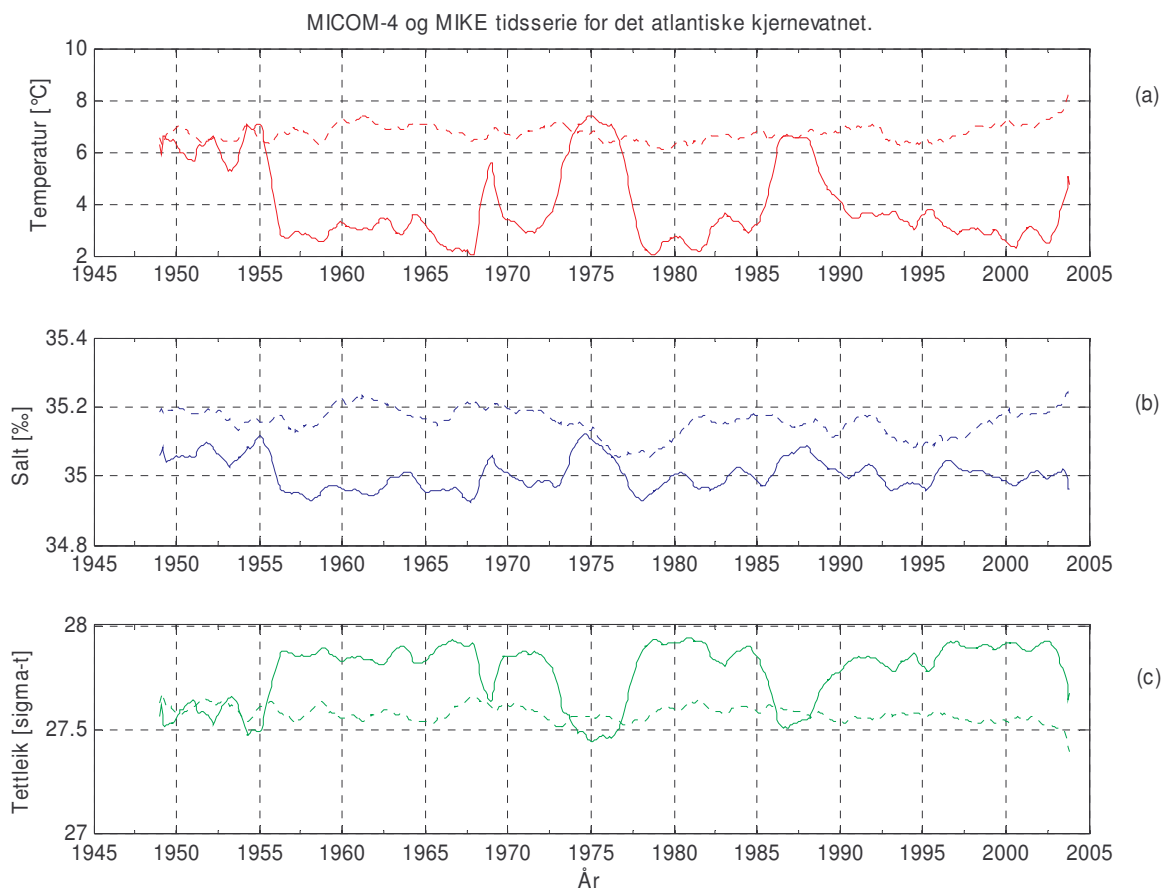
MICOM er som før nemnd kaldare og ferskare enn MIKE, og modellen har også mykje større utslag frå den respektive middelverdien enn observasjonane. Dette viser både gjennomsnittsverdiane og sjølv skiftingane gjennom perioden. MICOM-1 og MICOM-4 sine svingingar følgjer grovt sett kvarandre medan MICOM-8 har sitt eige mønster. Ingen av dei liknar seinsommar variasjonen til det målte atlantiske kjernevatnet. Faktisk ville kun vassmassen til tolv av 25 år blitt klassifisert som atlantisk vatn, elles er det norsk kystvatn med saltinnhaldet under 35‰ som råder. Ei studie av modellen TOPAZ viste at den sender den Norske Atlanterhavsstraumen for langt mot vest (Bjordal, 2006). Det er nærliggjande å gjette at også MICOM gjer denne feilen slik at det blir for lite atlantisk vatn langs Norskekysten. MICOM saltsnittet (figur 12) antyda dette som eit alternativ då me fann det saltaste vatnet lengst vekk ifrå Norskekysten. Det varmaste vatnet ligg fortsett nærmast kysten og går imot hypotesen. La oss så anta at det er varmt kystvatn me ser mot aust. Kva kan forklare den høge temperaturen? Ei mogleg forklaring er varmt, ferskt kystvatn advektert ifrå Nordsjøen (Nilsen & Falck, 2003), men denne vassmassen burde liggje mykje nærmare Norskekysten. Stasjon MIKE ligg jo eigentleg midt i den vestre delen av den Norske Atlanterhavsstraumen, over fronten mellom det arktiske og det atlantiske vatnet, (Nilsen, 2003), ikkje nær Kystfronten i aust.

Den stikk motsette alternativet er at modellen sender den Norske Atlanterhavstraumen for langt mot aust slik at MICOM vassøyla dermed blir generelt for kald og fersk. Dette var ei gitt forklaring på observert og modellert saltsnitt i 1983 (figur 14 og 15). Sesongsignalet for salt ved MICOM-8 stemmer med forskyving mot aust (figur 33). Me laga midla MICOM temperatur og salt snitt for alle årets månader (ikkje vist her). I desse har 35 isohalinen ein flat struktur i februar-april, frå mai kjem det inn saltare vatn ifrå aust som spreier seg vestover nær overflata. Kystvatnet, representert av 34.9 isohalinen, kjem etter i august. I september skrar isohalinene i dei øvste 600 meterane nedover frå vest mot aust. Dette skjer også mellom oktober-januar, men i desse månadane ligg 35 isohalinen øvst som unntaket i vest. Totalt kan det indikere at modellen sender den Norske Atlanterhavsstraumen for langt mot aust slik at me ikkje ser det forventa modellerte resultatet i det utvalde MICOM snittet (figur 11).



Figur 34: Tidsserie av (a) temperatur og (b) salt i det atlantiske kjernevatnet om seinsommaren for Svinøysnittet (raud), stasjon MIKE (rosa), Gimsøysnittet (mørke blå), MICOM-1 (lyse blå), MICOM-4 (grøn) og MICOM-8 (gul). Dei høvesvis stipla linjene viser gjennomsnittsverdien til serien. Data frå Svinøy- og Gimsøysnitta er lånt ifrå Blindheim (2004) ved hjelp av Svein Østerhus.

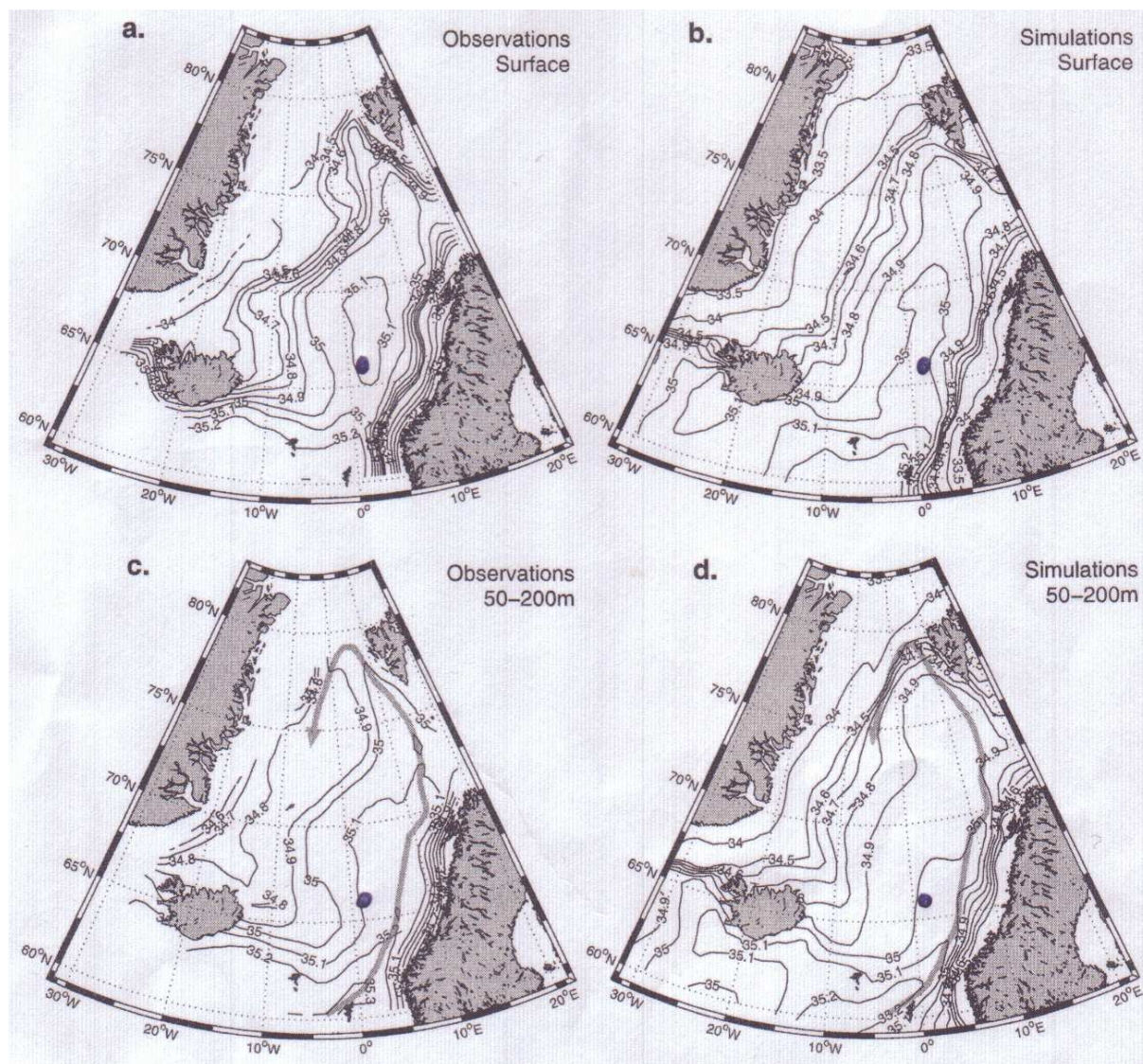
Tilslutt ser me på heile tidserien ved hjelp av glatta modellresultat og observasjonar i det atlantiske kjernevatnet (midla mellom 50-200 meter djup) (figur 35). Modellen har nokolunde same verdiane som observert i starten av serien, men slik som i djupet (figur 29) ser me at dette varer berre 6 år fram i tid til 1955. Generelt er MICOM-4 serien for kald og fersk. Ser ingen klar samanheng mellom utviklinga til modellert og observert atlantisk kjernevatn. Tettleiken til det modellerte vatnet er styrt av temperaturen noko som stemmer med observasjonane frå MIKE.



Figur 35: MICOM-4 (heiltrekt linje) og MIKE (stipla linje) sin (a) temperatur (raud), (b) salt(blå) og (c) tettleik (grøn) utvikling for det atlantiske kjernevatnet (50-200 meter). Alle kurvene er køyrd gjennom eit glideande middel ("runavg") som midlar over 13 månader for å fjerne sesongvariasjonen og glatte ut kurva.

I Nilsen et al. (2003) demonstrerer dei at Nansen senteret sin versjon av MICOM fangar opp hovudtrekka til straumssystemet i blandingslaget i Nord Atlanteren-Nordiske hav. Kvifor klarar ikkje så MICOM snittet å simulere MIKE betre? Hatun et al. (2005) seier at ein ikkje bør samanlikne eit og eit gridpunkt i MICOM med hydrografiske stasjonar då det er sjeldan at modellen treff den nøyaktige posisjonen. Han skriv vidare at ein også bør vere forsiktig med å fjerne den årlege variasjonen til observasjonsdataa. I lange tidsseriar kan syklusen innehalde trendar og dermed kan det å ta sesongvariasjonen bort vere ein komplisert affære. Furevik et al. (2002) har utført ein samanlikning av observasjonar og MICOM simulering i tid for dei Nordiske hav. Ved å ta for oss nokre av deira resultat ser me at MICOM generelt er litt for kald (Hatun et al. (2005) estimerte temperatur feilen til 0.44°C over Island-Skottland ryggen) og fersk (0.1‰) i heile området. Modellen gjenskaper både den Arktiske fronten og Kystfronten, med den Norske Atlanterhavs-straumen imellom, på ganske rette stader. I overflata har den modellerte 34.9 isohalinen (figur 36c) omtrent same utstrekning som den observerte 35 isohalinen (figur 36a). Midla for det atlantiske kjernevatnet ser me at modellen pressar den salte kjernen nærmare Norskekysten (35 isohalinen i figur 36d) enn observert (35.1 isohalinen i figur 36c). Den øvre vassmassen til det modellerte atlantiske vatnet blir dermed for kald og fersk, og særleg blir temperaturen i Norskehavet for låg (Furevik et al., 2002). Me bør også vite at oppløysinga til modellen ikkje klarar å fange opp mesoskala aktivitet som meandere og eddiar i det Nordiske hav noko som påverkar saltet sin sesongvariasjon (Furevik et al., 2002). Totalt gjev dette eit heilt anna vertikal bilete i det utvalde MICOM snittet enn observert ved MIKE. Furevik et al. (2005) avsluttar med å understreke at det trengst mange fleire salt målingar og satellitt observasjonssystem for å

betre MICOM resultatet.



Figur 36: Årleg gjennomsnitt av salt distruberinga i overflata (øvt) og midla over 50-200 meter (nede) basert på observasjonar (venstre) og modell simulering (høgre). Det er teikna konturar for kvar 0.5‰ intervall under 34.5‰ og for kvar 0.1‰ intervall over denne verdien. Den grå pila viser vegen til det atlantiske vatnet basert på det observerte 50-200 meter salt minimumet. Posisjonen til MIKE er markert med ein stor prikk. Figuren er henta ifrå Furevik et al. (2002).

7 Oppsummering

Observasjonane frå stasjon MIKE er brukt i mange ulike studiar frå oppstart av det hydrografiske programmet og fram til nyare tid. Denne nye gjennomgangen av datamaterialet verifiserte mange tidlegare funn, men avslørte få nyhende om MIKE. Me såg på vertikal strukturen ved MIKE og samanlikna diskrete vasshentarprofil med kontinuerlege MicroCATprofil. Samanlikninga viste at vasshentaren nokre gonger går glipp av maksimum og minimum verdien til saltet noko som kan gje ein mogleg underrepresentasjon av innslaget med norsk arktisk intermediært vatn i datasettet. Sesongvariasjonen er normal og avgrensa til dei øvste 300 meterane (Gammelsrød & Holm, 1984). Temperaturen og saltinnhaldet nær overflata begynte å stige etter år 2000 (figur 7a, 8b, 35a,b) og i 2004 blei dei høgaste, observerte verdiane i den atlantiske kjernen registrert ved MIKE (Gammelsrød & Sætre, 2005). Oppvarminga nede i djupet (Østerhus & Gammelsrød, 1999) pågår stadig (figur 7c), og i dei siste åra har også saltet begynt å auke (figur 8c).

MICOM-4 og resten av stasjonane er generelt for kald og fersk i øvste delen av vassøyla (figur 33a,b). Sesongvariasjonen er overdriven tydeleg med for stor amplitude (figur 20 og 22) der signalet trengjer heilt ned til 600 meter djup (figur 30 og 31). Modellen treff maksimums-temperaturen i dei øvste 30 meterane grunna solinnstråling. Midtsommars manglar modellen mindre salt kystvatn i overflata og den ekstra salte kjernen med atlantisk vatn mellom 50-90 meter (figur 31, figur 5). Totalt blir sesongvariasjonen til MICOM-4 annleis enn MIKE. Resultatet betrar seg nærmast kysten for MICOM-8(figur 32 og 33). Her burde det utvalde MICOM snittet blitt utvida austover for å sjekke om den modellerte Norske Atlanterhavsstraumen går lengre mot aust. Saltutviklinga til modellen nede i djupet har ingenting med røyndommen å gjere, feilen eskalerer oppover i vassøyla etterkvart som tida går (figur 29a). Temperaturutviklinga er heller ikkje bra her nede (figur 29b). Anomaliane til MICOM og MIKE er svært ulike i alle djup (figur 24, 25, 26 og 27). Samanlikninga av modell og observasjonar er problematisk då stasjonane ligg i eit område der mykje hender over korte horisontale strekningar (figur 13 og 15). I tillegg er det diskutabelt om det er rett å samanlikne ein hydrografisk stasjon mot eit lite utsnitt frå modellen, og om det er ukomplisert å fjerne sesongvariasjonen frå ein lang tidsserie (Hatun, 2005). Ved å sjå på ei samanlikning av MICOM og observasjonar over eit større område (Furvik et al., 2002) ser me at MICOM simulerer øvste del av vassøyla betre enn kva me får inntrykk av frå resultatata i denne oppgåva (figur 36). Det har vist seg vanskeleg å validere modellen MICOM, for den observerte fronten under stasjon MIKE, ved hjelp av eit så kort sonalt snitt.

Referansar:

Bjordal, K.D., (2006); Argo Profiling Floats in the Nordic Seas: Deep water circulation, hydrography and comparisons to the TOPAZ model. *Mastergradsoppgave i fysisk oseanografi. Geofysisk institutt. University of Bergen, Norway.*

Bleck, R., Rooth, C., Hu, D. and Smith, L.T. (1992): Salinity-driven Thermocline Transients in a Wind- and Thermohaline-forced Isopycnic Coordinate Modell of the North Atlantic. *Journal of Physical Oceanography, vol. 22, 1486-1515.*

Blindheim, J. (2004): Oceanography and climate. *The Norwegian Sea Ecosystem. Skjoldal, H. R. (ed), (2004).*

Curry, R. and Mauritzen, C. (2005): Dilution of the Northern North Atlantic Ocean in Recent Decades. *Science, vol. 308.*

Dickson, R.R., Meincke, J, Malmberg,S.A., and Lee, A.J. (1988): The "Great Salinity Anomaly" in the Northern North Atlantic 1968-82. *Progress in Oceanography, vol.20, pp. 103-151, 1988.*

Furevik, T., Bentsen, M., Drange, H., Johannessen, J.A., and Korabelv, A. (2002): Temporal and spatial variability of the sea surface salinity in the Nordic Seas. *Journal of Geophysical Research, vol.107, no. C12, 8009, doi:10.1029/2001JC001118, 2002.*

Gammelsrød, T. and Holm, A. (1984): Variations of temperature and salinity at Station M (66°N 02°E) since 1948. *Rapp. P.-v Reun. Cons. int. Explor. Mer, 185: 188-200. 1984.*

Gammelsrød, T. og Sætre, S. (2005): Stabiliteten til Golfstrømmen. *Cicerone 5/2005.*

Gammelsrød, T., Østerhus, S., and Godøy, Ø. (1992): Decadal variations of ocean climate in the Norwegian Sea observed at Ocean Station "Mike" (66°N 02°E). *ICES mar. Sci. Symp., 195:68-75. 1992.*

Hátún, H., Sandø, A.B., Drange, H., & Bentsen, M. (2005): Seasonal to Decadal Temperature Variations in the Faroe-Shetland Inflow Waters. *The Nordic Seas: An integrated Perspective (p. 239-250). Editors; Drange, H., Dokken, T., Furevik, T., Gerdes, R., and Berger, W.*

Hátún, H., Sandø, A.B., Drange, H., Hansen, B., Valdimarsson, H. (2005): Influence of the Atlantic Subpolar Gyre on the Thermohaline Circulation. *Science, vol. 309.*

Johannessen, J. (1979): Analyse av Metrologiske og Oseanografiske Data frå Værskipsstasjon M (66°N 02°E) i Norskehavet. *Hovedfagsoppgave i Oseanografi. University of Bergen, Norway.*

Mikki, S. (1998): Quality Control of Salinity Data from Station M. *Report 74, Geophysical Institute, University of Bergen, Allegt. 70, 5007 Bergen, Norway.*

Nilsen, J.E.Ø. (2003): Aspects of the Atlantic Flow through the Norwegian Sea. *Dr. Scient. Thesis in Physical Oceanography, October 2003. Geophysical Institute, University of Bergen. G.C. Rieber Climate Institute, Nansen Environmental and Remote Sensing Center.*

Paper 1.

Nilsen, J.E.Ø. (2003): Variability at the Ocean Weather Station M in the Norwegian Sea. *ICES Marine Science Symposia, 219, 371-374.*

Paper 2.

Nilsen, J.E.Ø. and Nilsen, F. : Detecting Frontal Structures in Oceanic Station Time Series. *Manuscript.*

Paper 3.

Nilsen, J.E.Ø. and Falck, E. : Variations of Mixed Layer Depth and Water Properties in the Norwegian Sea for the period 1948-1999. *Climate Variability in the Nordic Seas, Geophysical Monograph Series, AGU. Submitted.*

Paper 4.

Nilsen, J.E.Ø., Gao, Y., Drange, H., Furevik, T. and Bentsen, M. (2003): Simulated North Atlantic-Nordic Seas Water Mass Exchanges in an Isopycnic Coordinate OGCM. *Geophysical Research Letters, 30(10), 1536, doi:10.1029/2002GL016597.*

Rey, F. (2004): Phytoplankton: the grass of the sea. *The Norwegian Sea Ecosystem. Skjoldal, H. R. (ed), (2004).*

Schlosser, P., Bönisch, G., Rhein, M., and Bayer, R. (1991): Reduction of deepwater formation in the Greenland Sea during the 1980s: evidence from tracer data. *Science, 251: 1054-1056.*

Sætre R. (2004): Scientific research in the Norwegian Sea: Background and history. *The Norwegian Sea Ecosystem, page 52. Skjoldal, H. R. (ed), (2004).*

Østerhus, S. and Gammelsrød, T. (1999): The Abyss of the Nordic Sea Is Warming. *Journal of Climate, Vol.12, No. 11, November 1999.*

Østerhus, S., Gammelsrød, T. og Hogstad, R. (1996): Ocean Weather Ship Station M (66N, 02E). The longest existing homogeneous time series from the deep ocean. *WOCE Newsletter, 24/96.*

Østrem, A.K. (2004): MicroCAT-data frå Stasjon M. Report Nr R17. *Report Series of the Bjerknes Centre for Climate Research. ISSN 1503-8734.*

<http://-mike/historie.html>

<http://www.gfi.uib.no/forskning/mike/historie.html>

<http://www.seabird.com>

http://seabird.com/products/spec_sheets/37smdata.htm