



GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·

**NGU RAPPORT
2023.009**

Kartlegging av marine palynomorfer i
havbunnsedimenter i kommunene Ålesund,
Giske og Stavanger



Rapport nr.: 2023.009	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen	
Tittel: Kartlegging av marine palynomorfer i havbunnssedimenter i kommunene Ålesund, Giske og Stavanger			
Forfatter: Kari Grøsfjeld		Oppdragsgiver: Norges geologiske undersøkelse (NGU)	
Fylke: Møre og Romsdal, Rogaland		Kommune: Ålesund, Giske, Stavanger	
Kartblad (M=1:250.000): Ålesund, Ulsteinvik, Haugesund og Stavanger		Kartbladnr. og -navn (M1:50.000):	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 37 Kartbilag: 0	Pris: 130 NOK
Feltarbeid utført: 2020	Rapportdato: 09.05.2023	Prosjektnr.: 395100	Ansvarlig: Reidulv Bøe
Sammendrag <p>Marine palynomorfer, hovedsakelig dinocyster, har blitt kartlagt i havbunnssedimentene på 10 stasjoner i kommunene Ålesund og Giske, og 10 stasjoner i Stavanger. Arts-sammensetningen er stort sett den samme i disse områdene, selv om andelen av de ulike artene varierer i forhold til det spesifikke miljøet i overflatevannet. Prøvene kan være relativt artsrike, selv om et fåtall arter (særlig cyster av <i>Protoceratium reticulatum</i>, <i>Brigantedinium</i> spp. og <i>Selenopemphix quanta</i>) dominerer. Cyster av <i>P. reticulatum</i> utgjør ofte den største andelen i prøvene, og viser at det er god utveksling mellom overflatevannet nær kysten og i mer åpne områder på de fleste lokalitetene. Områder med lavest andel av cyster av <i>P. reticulatum</i> ($\leq 34\%$), som indikerer litt nedsatt sirkulasjon i overflatevannet, er stasjonene 9 Ytre Gandsfjorden, 10 Hidlefjorden, og 4 NV for Finnøy i Stavanger, og stasjonene 2 Valderhaugfjorden, 6 Synesvikane og 10 Vigrafjorden N for Roald på Sunnmøre. Artssammensetningen i prøvene er typisk for den subarktiske biogeografiske sonen, og består av både varmekjære arter som <i>Lingulodinium machaerophorum</i>, og arter med toleranse for kjølige vannmasser, som <i>Brigantedinium</i> spp., og <i>Islandinium? cezare</i>. Avtagende andel av den fototrofe <i>L. machaerophorum</i> nordover gjenspeiler sannsynligvis den synkende temperaturgradienten i overflatevannet. <i>I.? cezare</i> forekommer hyppigst i det nordlige undersøkelsesområdet, og gjenspeiler sannsynligvis dens preferanse for lave temperaturer i overflatevannet. Stasjoner med høyest andel heterotrofe arter (>50%) er 9 Ytre Gandsfjorden, 10 Hidlefjorden og 4 NV for Finnøy i Stavanger, og stasjonene 10 Vigrafjorden N for Roald, 6 Synesvikane, 4 NV for Sjongfluda og 2 Valderhaugfjorden på Sunnmøre. Med noen få unntak er det relasjon mellom høyt innhold av totalt organisk karbon (TOC) og høy andel heterotrofe arter, selv om det finnes stasjoner med høy andel heterotrofe arter uten at innholdet av TOC er høyt. De ulike heterotrofe artene synes å ha en spesifikk preferanse for næring. For eksempel opptrer <i>Selenopemphix quanta</i> i størst andel på stasjon 4 NV for Finnøy i Stavanger, mens den på Sunnmøre opptrer i høyest andel på stasjon 6 Synesvikane og 10 Vigrafjorden N for Roald. Signalene fra dinocystene samsvarer godt med de interpolerte temperatur- og salinitets parameterne i overflatevannet i marine grunnkart.</p>			
Emneord			
Marine palynomorfer	Dinocyster	Hydrografi	
Klima	Overflatevann	Norskekysten	
Resent	Havbunnssedimenter	Havbunnskartlegging	

Innhold

1. INNLEDNING	5
2. PRØVETAKING, MATERIALE OG METODIKK	7
2.1 Materiale.....	7
2.2 Palynologisk preparering	8
3. OMRÅDEBESKRIVELSE	8
3.1 Sunnmøre.....	8
3.2 Stavanger	8
4. rESULTATER	9
4.1 Generelt om innholdet av marine palynomorfer i prøvene	9
4.2 Artssammensetning på de ulike stasjonene	22
4.2.1 Sunnmøre	22
4.2.2 Stavanger.....	23
5. DISKUSJON	25
5.1 Relasjonen mellom heterotrofe arter og totalt organisk karbon (TOC)	25
5.1.2 Årsakssammenheng	27
5.2 Utveksling av vann mellom kystnære og mer åpne områder	28
5.3 Klimaperspektiv	32
5.4 Videre arbeid.....	32
6. KONKLUSJON	33

FORORD

Kunnskap om tilstanden i kystvannet er en forutsetning for å kunne ivareta denne ressursen på en bærekraftig måte, og danner en viktig basis for å kunne forstå tidligere, nåtidige og fremtidige endringer i miljø og klima. I pilotprosjektet Marine grunnkart i kystsonen har Kartverket, Havforskningsinstituttet (HI) og Norges geologiske undersøkelse (NGU) samarbeidet om å utarbeide marine grunnkart over utvalgte sjøområder. Et av disse ligger i Stavangerområdet, mens et annet ligger i Ålesund og Giske kommune på Sunnmøre. I mai 2020 hentet NGU sitt forskningsfartøy F/F Seisma opp korte sedimentkjerneprøver fra ti utvalgte lokaliteter i hvert av disse områdene. Dette studiet er et FoU-prosjektet ved NGU, basert på videre undersøkelser av prøvene for å kartlegge den geografiske utbredelsen av marine palynomorfer (særlig dinocyster) i havbunnssedimentene og skaffe tilveie informasjon om tilstanden i overflatevannet.

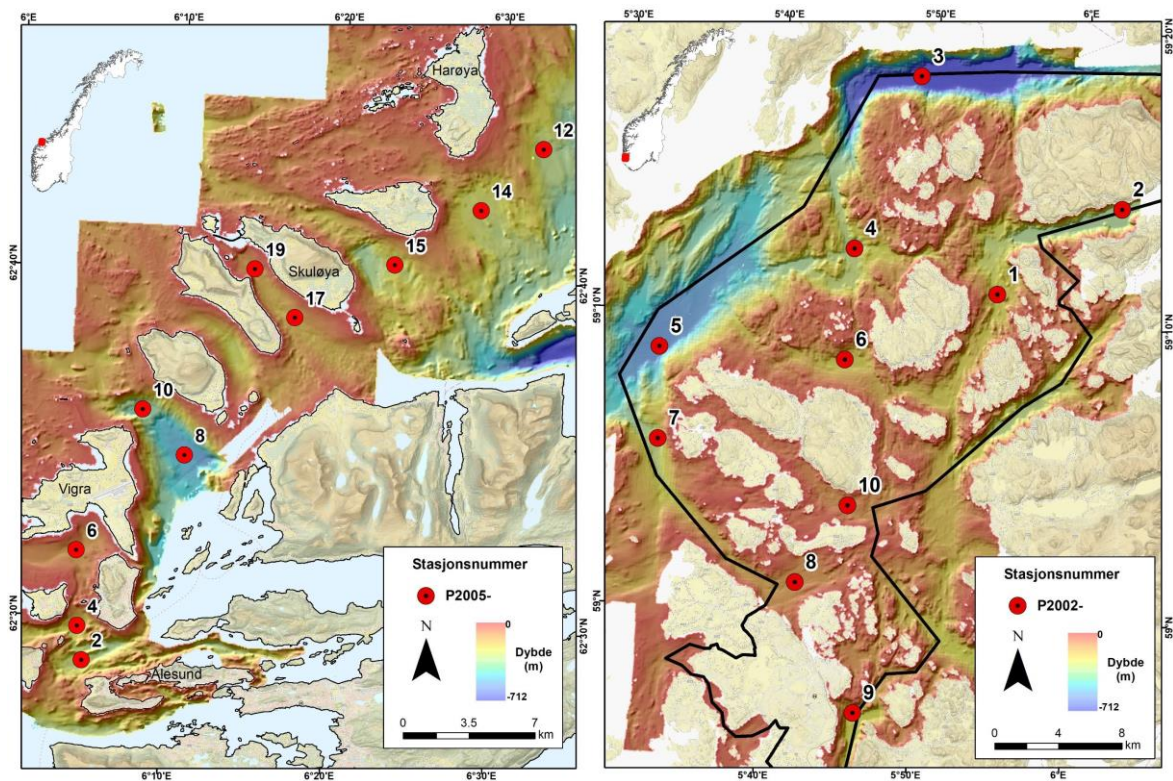
Dinocyster er hvilesporene til en gruppe plankton (dinoflagellater) som holder til i overflatevannet. Disse synker ned på havbunnen og blir oppbevart i sedimentene. Dinocystene gir viktig informasjon om tilstanden i overflatevannet, som temperatur, grad av ferskvannsinntilførsel og i hvilken utstrekning det har vært utveksling av kystnære vannmasser med de i mer åpne områder. Andre parametere er andelen næringsstoffer i vannet (grad av kystvanneutrofiering). Vi har undersøkt om elementer i datasettet er i stand til å avdekke temperaturgradienten på tvers av breddegrad. Videre har vi studert om datasettet kan kobles opp mot andre typer data samlet inn fra de samme prøvene, som innhold av totalt organisk karbon (TOC). Vi har også undersøkt om det finnes en relasjon mellom forekomsten av dinocyster, kulturelt tilførte organiske næringsstoffer og menneskeskapt miljøgifter.

1. INNLEDNING

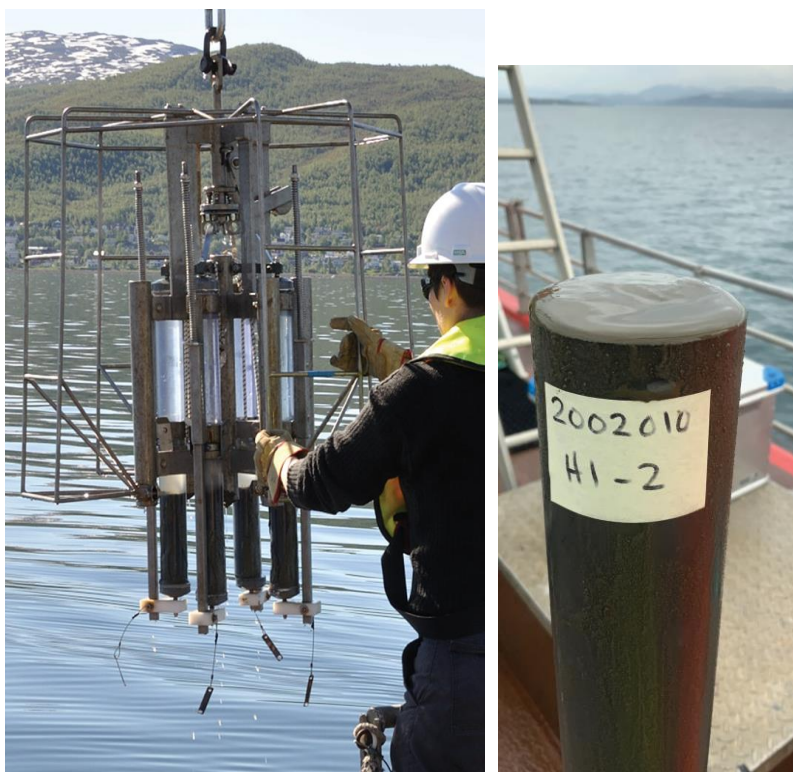
Dinoflagellatcyster, eller dinocyster, er mikroskopiske fossiler som finnes i havbunnsedimentene. De er hvilesporene til encellede planktoniske organismer, såkalte dinoflagellater, som lever i overflatevannet. Dinocystene er dinoflagellatenes overlevelses- og spredningsstrategi. Disse synker ned på havbunnen hvor de blir akkumulert og inkorporert i sedimentet. Ettersom de består av et motstandsdyktig organisk materiale, kan de bli oppbevart i sedimentene i lang geologisk tid. Overflatevannet gjelder stort sett den delen av vannsøylen hvor lyset kan trenge gjennom. Fordi mange dinocystearter har blitt koplet til sitt planktoniske stadium, kjenner vi til kravet mange av disse de stiller til forholdene i overflatevannet. Dinocystene er derfor vitnesbyrd om miljøet i vannmassene over, der opphavet, dinoflagellaten, levde.

Blant dinoflagellatene finnes det ulike ernæringsstrategier. Fototrofe former med kloroplaster anvender fotosyntese, mens heterotrofe formene er avhengig av tilgang på organisk føde, gjerne annet plankton. Flere arter kan veksle mellom disse strategiene og er miksotrofe. De ulike artene har forskjellige toleranse for ulike parametere i overflatevannet, som for eksempel temperatur og saltholdighet. De er gode indikatorer på tilstanden i overflatevannet og er verdsatt både som miljø og klimaindikatorer (Dale, 2009, Zonneveld et al., 2013). Vi har kartlagt den geografiske utbredelsen til de ulike artene, og undersøkt sammenhengen mellom artssammensetningen i havbunnsedimentene og forholdene i vannet over. Vi har også undersøkt om de to undersøkte områdene spenner over tilstrekkelig antall breddegrader til å kunne observere en temperaturgradient på tvers av breddegrad. Prøvestasjonene finnes i to kystnære områder, et i Ålesund og Giske kommune på Sunnmøre og et i Stavangerområdet, lengre syd (Figur 1). Det har tidligere blitt gjort liknende undersøkelser (Grøsfjeld og Harland, 2001), men det aktuelle prosjektet har høyere prøvetetthet.

Kunnskap om tilstanden i kystvannet er en forutsetning for å kunne ivareta denne ressursen på en bærekraftig måte. Den danner en viktig basis for å kunne forstå tidligere, nåtidige og fremtidige endringer i miljø og klima. Viktige parametere som kan skaffes tilveie ved å studere disse mikroskopiske fossilene er temperaturen i overflatevannet, graden av ferskvannsinntilførsel, utveksling av vannmassene i kystnære områder med de i mer åpne områder, om vannet er stratifisert eller mikset og homogenisert, hvor mye næringsstoffer som er tilgjengelig, graden av kystvanns-eutrofiering, etc. Dataene sammenlignes med tidligere innsamlede data som totalt organisk karbon og miljøgifter (Knies et al., 2021a, b) i tillegg til interpolerte parametere som intensiteten i overflatevannstrømmen og overflatesaliniteten (<https://marinegrunnkart.avinet.no/>).



Figur 1. Prøvetakingsstasjoner i kommunene Ålesund og Giske (til venstre) og Stavanger (til høyre (Knies et al. 2021a, b). Røde punkter viser stasjonene hvor sedimentprøver fra havbunnen er hentet opp med «multicorer» (se Tabell 1). I disse prøvene er innholdet av marine palynomorfer studert. Dybdedata og landdata er fra Kartverket.



Figur 2. Ved hjelp av «multicorer» blir korte kjerner med uforstyrret sediment hentet opp fra havbunnen. Foto: Sigrud Elvenes

ST	Prøvenr.	Område	N	Ø	Dyp	Lyc	Dino	cy/g	Taxa
		<i>Sunnmøre</i>			m		n		
2	P2005002B	Valderhaugfjorden	62,47915	6,08438	104	119	214	211	14
4	P2005004C	NV for Skjongfluda	62,49539	6,07825	73	7	33	563	7
6	P2005006C	Synesvikane	62,53132	6,07404	44	7	13	823	4
8	P2005008A	Vigra fjorden Ø for Roald	62,57869	6,18129	180	35	231	1239	15
10	P2005010A	Vigra fjorden N for Roald	62,59972	6,13614	139	50	88	210	7
12	P2005012C	Harøyfjorden ved Harøya	62,73083	6,53991	104	37	325	1045	13
14	P2005014A	Harøyfjorden ved Fjørtofta	62,70064	6,47764	89	10	235	2806	15
15	P2005015C	Nogvafjorden	62,67314	6,39050	90	68	195	340	13
17	P2005017C	Longvafjorden SØ	62,64616	6,28916	50	63	252	477	15
19	P2005019C	Longvafjorden NV	62,66859	6,24587	45	49	273	666	15
		<i>Stavanger</i>							
1	P2002001	Finnøyfjorden	59,18360	5,90959	241	0	327	-	13
2	P2002002	Gardssundfjorden	59,23457	6,04262	348	0	240	-	14
3	P2002003	Nedstrandsfjorden	59,30474	5,81545	702	0	327	-	10
4	P2002004	NV for Finnøy	59,20576	5,75017	312	0	358	-	13
5	P2002005	Ytre Boknafjorden	59,14533	5,54150	582	0	298	-	16
6	P2002006	Talgjefjorden	59,14282	5,74543	220	0	305	-	15
7	P2002007	Kvitsøyfjorden	59,09342	5,54482	283	0	250	-	16
8	P2002008	Åmøyfjorden	59,01611	5,70263	114	0	231	-	13
9	P2002009	Ytre Gandsfjorden	58,94384	5,77255	240	0	259	-	14
10	P2002010	Hidelefjorden	59,06069	5,75619	115	0	234	-	14

Tabell 1. Prøvestasjoner. ST (stasjon, forkortet prøvenummer), prøvenummer, stedsnavn, koordinater (WGS84) oppgitt i desimalgrader, vanddyb, antall talte markører og dinocystekonsentrasjon. Lyc: antall tilsatte markører (*Lycodpdium* sporer), Dino n: totalt antall talte dinocyster, cy/g: dinocystekonsentrasjon – antall dinocyster per gram tørt sediment, Taxa: antall registrerte dinocyste-taxa.

2. PRØVETAKING, MATERIALE OG METODIKK

2.1 Materiale

I 2020 ble 20 prøver med havbunnsediment samlet inn i to kystnære områder i kommunene Ålesund og Giske på Sunnmøre, og Stavanger i Rogaland (Knies et al. 2021a, b) (Figur 1, tabell 1). Prøvene ble samlet inn av NGUs forskningsfartøy FF Seisma ved hjelp av multicorer (Figur 2). I dette studiet har de øverste 1-2 cm med uforstyrret sediment i kjernene blitt undersøkt for innhold av marine palynomorfer (i hovedsak dinocyster). I begge undersøkelsesområdene er disse sedimentene dominert av slam (<0,063 mm) (Knies et al. 2021a, b). Sedimentasjonshastigheten er kjent i 3 basseng i hvert område, hvor det har blitt utført dateringer av sedimentet i kjernene (Knies et al. 2010a, b). I Stavangerområdet gjelder dette stasjonene 5 Ytre Boknafjorden, 6 Talgjefjorden og 9 Ytre Gandsfjorden, hvor sedimentasjonsraten varierer fra 6.3 (stasjon 5) til 2.6 (stasjon 9) millimeter pr år. På Sunnmøre varierer sedimentasjonsraten fra 1,4

(stasjon 14 Harøyfjorden ved Fjørtofta) til 4,6 millimeter pr år (stasjon 2 Valderhaugfjorden). På stasjon 8 Vigrafjorden Ø for Roald er den 4,4 mm/år.

2.2 Palynologisk preparering

Prøvene ble preparert på laboratoriet til GEUS i Danmark. Standard palynologisk prepareringsprosedyre for marine palynomorfer ble fulgt. Kald 10% saltsyre (HCl) og kald 70% flussyre (HF) ble anvendt for å fjerne minerogent materiale som kvarts, feltspat og karbonat. Det ble ikke anvendt kjemikalier for oksydering. Det organiske materialet ble siktet gjennom 11 og 20 mikrometer (μm) sikteduk. Tre preparater ble laget av 11- μm -fraksjonen, mens to preparater ble laget av på 20- μm -fraksjonen. En tablett med markører (*Lycopodium clavatum* sporer) ble tilsatt hver enkelt prøve for å beregne dinocystekonsentrasjonen (cyster/g=antall dinocyster pr gram tørt sediment). Hver tablett inneholder 1200 *Lycopodium* sporer. Da det ikke er funnet markører i prøvene fra Stavangerområdet er det dessverre ikke mulig å beregne dinocyste-konsentrasjoner i disse prøvene. For å oppnå tilstrekkelig antall talte eksemplarer og gjøre registreringsarbeidet mindre tidkrevende, ble tellingene utført på preparatene hvor det organiske materialet er siktet gjennom 20 μm maskevidde. Syrerester av prøvene er oppbevart hos GEUS. Mikrofotografier av utvalgte dinocyster og andre typiske marine palynomorfer er illustrert bakerst i rapporten som figur 20 og 21.

3. OMRÅDEBESKRIVELSE

3.1 Sunnmøre

Området på Sunnmøre ligger kystnært i Ålesund og Giske kommune mellom Ålesund i sør og Harøya i nord (Figur 1). Vanddybden på stasjonene hvor prøvene er samlet inn varierer fra 44 til 180 m (Tabell 1). Seks av lokalitetene har vanddyp mindre enn 100 m, mens 3 av prøvene er tatt på vanddyp grunnere enn 50 m. Den gjennomsnittlige temperaturen i overflatevannet i området er interpolert til rundt 8-9°C (<https://marinegrunnkart.avinet.no>). Den gjennomsnittlige saliniteten i overflatevannet er interpolert til rundt 31-32‰ i den nordligste delen av undersøkelsesområdet, mens den er noe nedsatt i det sydligste området til rundt 30‰ (<https://marinegrunnkart.avinet.no>).

3.2 Stavanger

Området i Stavanger består av skjærgård og øyer (Figur 1). Vanddypet på de ulike stasjonene varierer fra 114 til 702 m (Tabell 1). De fleste stasjonene ligger i Stavanger kommune, mens enkelte andre ligger i kommuner som grenser til Stavanger kommune. De er likevel alle referert til som stasjoner i Stavanger. De grunneste lokalitetene finnes på stasjon 8 Åmøyfjorden (114 m vanddyp) og stasjon 10 Hidlefjorden (115 m vanddyp). De resterende lokalitetene har vanddyp >200 m med største vanddyp på 702 m i Nedstrandsfjorden og på 582 m på stasjon 5 i ytre Boknafjorden. Den gjennomsnittlige temperaturen i overflatevannet er interpolert til rundt 9-10°C (<https://marinegrunnkart.avinet.no>). Saliniteten i overflatevannet er rundt 31-32‰ i området hvor de ytterste stasjonene ligger, mens den er rundt 29‰ i områdene innaskjærs (<https://marinegrunnkart.avinet.no>). I de mest landnære områdene, hvor de innerste stasjonene ligger, er saliniteten rundt 27-28‰.

4. RESULTATER

4.1 Generelt om innholdet av marine palynomorfer i prøvene

Prøvene i begge områdene har mye landderivert organisk materiale tilført områdene via elver. Ved, vev, sporer og pollen av ulike planter forekommer hyppig. Dinocyster er vanlige, mens akritarker så og si er fraværende. Organiske hinner fra skall hos foraminiferer («organic lining») er vanlige. De viser avtrykk av kamrene i foraminiferskallet. Det finnes flere typer kitinozoer. De vanligste er *Hexasterias problematica* og arter tilhørende slekten *Halodinium*. Disse er til stede i så og si alle prøvene i begge områdene. Egg av ulike organismer som copepoder og krepsdyr forekommer hyppig. Det er minimalt med resirkulerte prekvartære dinocyster, selv om slike forekommer. Selv om 300 talte dinocyster i hver prøve er ønskelig, var dette ikke alltid mulig å oppnå (Figur 3a, b, tabell 1). På Sunnmøre har vi likevel klart å oppnå tilstrekkelig antall talte individer til å kunne gjøre en tilfredsstillende miljøkarakteristikk i de fleste prøvene, unntatt på tre stasjoner. I Stavangerområdet har vi klart å telle minst 200 individer i alle prøvene. Mens cystekonsentrasjoner kunne beregnes i prøvene fra Sunnmøre, var dette ikke mulig for prøvene i Stavangerområdet (Figur 4). Det skyldes at det ikke ble funnet tilsatte markører i disse prøvene.

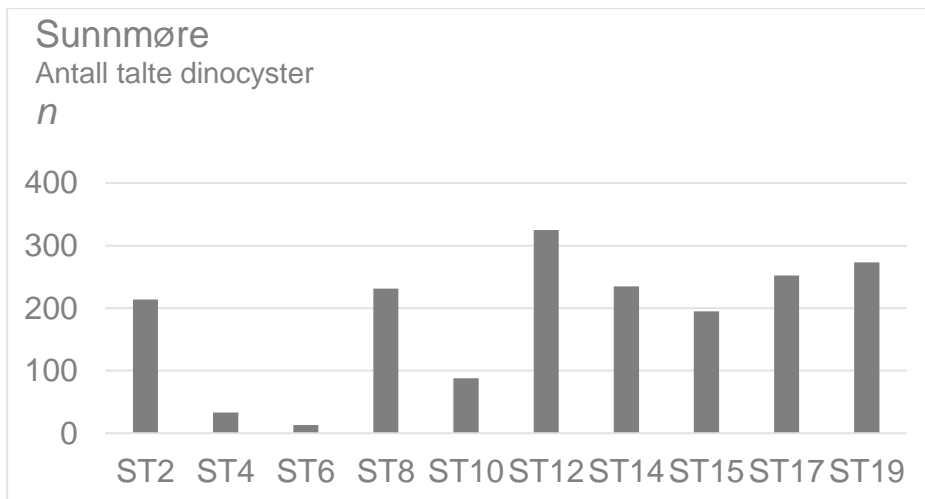
Totalt 21 ulike dinocyster er identifisert (Tabell 2). I tillegg kommer uidentifiserte eksemplarer, særlig av slekten *Spiniferites*. Artssammensetningen er stort sett den samme i begge undersøkelsesområdene, selv om andelen av de ulike artene varierer. Selv om prøvene kan være relativt artsrike, er det stort sett et fåtall arter som dominerer. På Sunnmøre er det registrert opptil 15 ulike dinocyste-taxa i de ulike prøvene, mens det i Stavangerområdet er registrerte opp til 16 dinocyste-taxa (Fig. 5, tabell 1). Arten som oftest utgjør høyest prosentandel er cyster av den fototrofe dinoflagellaten *Protoceratium reticulatum*. I Stavanger utgjør denne 27 til 56% av dinocystene, mens den på Sunnmøre utgjør 11 til 63% (Figur 6, 7, tabell 1). De nest mest tallrike av dinocystene er runde, brune cyster tilhørende slekten *Brigantedinium* spp., ofte referert til som «round browns» (Figur 6, 7, tabell 1). Denne utgjør som regel hovedandelen av de heterotrofe dinoflagellatene. Fordi de fleste identifiserte eksemplarene av *Brigantedinium* spp. representerer *Brigantedinium simplex*, tilhørende det planktoniske stadiet *Protopteridinium conicoides*, antar vi at de fleste individene inkludert i *Brigantedinium* spp. består av *B. simplex*. Andelen *Brigantedinium* spp. varierer i begge områdene. I Stavangerområdet utgjør *Brigantedinium* opptil 40% (på stasjon 10 Hidlefjorden), mens den på Sunnmøre når opp i 33%, bortsett fra stasjon 10 Vigráfjorden N for Roald, hvor den utgjør hele 53%. Stasjoner i Stavangerområdet med lave andeler *Brigantedinium* spp. er stasjon 1 Finnøyfjorden (6%), 2 Gardsundfjorden (1%), og 3 Nedstrandsfjorden (4%). På Sunnmøre gjelder dette stasjon 12 Harøyfjorden ved Harøya (4%), 14 Harøyfjorden ved Fjørtofta (3%), og stasjon 17 og 19 Longvafjorden SØ og SV, med henholdsvis 4 og 7% *Brigantedinium* spp.. Den heterotrofe *Selenopemphix quanta* er vanlig i begge områdene, men opptrer i litt høyere andel på Sunnmøre enn i Stavanger (Figur 6, 7). I Stavanger har den høyest prosentandel på stasjon 4 NV for Finnøy (38%). Stasjon 9 Ytre Gandsfjorden (12%) har også litt forhøyede verdier av denne i forhold til de andre lokalitetene i dette området. På Sunnmøre har *S. quanta* størst andel på stasjon 6 Synesvikane (46%), og 10 Vigráfjorden N for Roald (28%). Cyster av *Pentapharsodinium dalei* er til stede i de fleste prøvene i begge områder i andeler opptil 6% (Figur 6, 8). I Stavangerområdet har den forhøyede andel på stasjon 3 Nedstrandsfjorden (24%) og 2 Gardsundfjorden (22%) (Figur 8a). *Trinovantedinium applanatum* og *Spiniferites ramosus* er vanlige i begge områder, hvor de utgjør opp til henholdsvis 10 og 6-7% (Figur 6). *Spiniferites hyperacanthus* er vanlig i Stavanger (opp til 10%), men er kun registrert i en av prøvene på Sunnmøre (stasjon 19, Longvafjorden NV, 1%). *Lingulodinium machaerophorum* er

sjelden på Sunnmøre, hvor den når opp i maksimum 0,5% (Figur 9a). Kun et enkelt eksemplar av arten er registrert på stasjon 2 Valderhøyfjorden, 14 Harøyfjorden vest for Fjørtofta og 17 Longvafjorden SØ. I Stavangerområdet er den derimot til stede i alle prøvene, hvor den utgjør 1-2%, bortsett fra på stasjon 7 Kvitsøyfjorden hvor den når opp i 5% (Figur 9b). *Spiniferites elongatus* er til stede i begge områder, hvor den når stedvis opp i 5-6% (Figur 6). *Nematosphaeropsis labyrinthus* er vanlig i Stavangerområdet, hvor den forekommer i andeler opp til 2%. På Sunnmøre er den kun registrert på stasjon 8 Vigrafjorden, øst for Roald. *Islandinium? cezare* er registrert i relativt lav andel (~ 2%) i flere av prøvene i begge områdene, men opptrer hyppigst på Sunnmøre hvor den når opp i 6% (Figur 9). En rekke andre arter som *Ataxodinium choane*, *Islandinium minutum*, *Spiniferites membranaceus*, *Spiniferites mirabilis*, *Polykrikos kofoidii*, opptrer sporadisk.

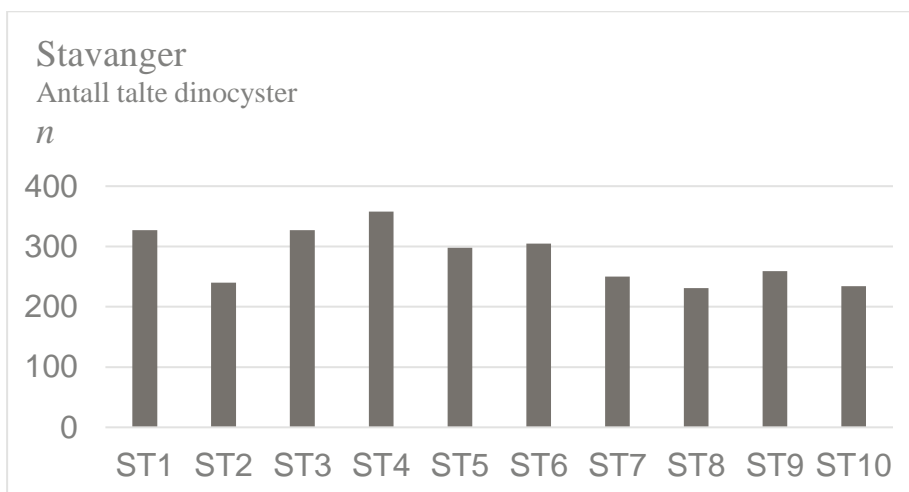
Da det ikke er registrert noen markører (*Lycopodium clavatum*-sporer) i prøvene fra Stavanger har det ikke vært mulig å beregne cystekonsentrasjoner i dette området. Det er usikkert om fraværet skyldes det relativt høye innholdet av TOC (>2%), som kan ha tynnet markørene, eller om det er glemt å tilsette markører under prepareringen. Det kan se ut til at det siste er tilfellet. På Sunnmøre derimot har det vært mulig å beregne cystekonsentrasjoner i alle prøvene (Figur 4). Stasjonene med høyeste cystekonsentrasjon er stasjon 12 og 14 i Harøyfjorden, med høyeste verdi på 2806 cyster/g på stasjon 14 Harøyfjorden ved Fjørtofta, og 1239 cyster/g på stasjon 8 Vigrafjorden Ø for Roald. Den sistnevnte stasjonen har betraktelig høyere cystekonsentrasjon enn stasjonen lengre nordvest i fjorden (stasjon 10 Vigrafjorden N for Roald), som har cystekonsentrasjon på kun 210 cyster/g og 88 talte dinocyster. Lokalteter med særlig lave tellinger er stasjon 6 Synesvikane med 13 talte dinocyster og konsentrasjon på 823 cyster/g, og stasjon 4 NV for Skjongfluda, med 33 talte dinocyster og konsentrasjon på 563 cyster/g (Figur 3). Vi har delt dinocystene inn i to grupper. Den ene gruppen representerer dinocyster av fototrofe dinoflagellater med kloroplaster hvor de fleste kan utføre fotosyntese. Den andre består av de heterotrofe artene som i stedet livnærer seg på en eller annen organisk næringskilde (Figur 10, 11, 16 og 17).

Dinoflagellatcyste (hvilespore)	Dinoflagellat (theca)
<i>Ataxodinium choane</i>	<i>Gonyaulax</i> sp. indet
<i>Bitectatodinium tepikiense</i>	<i>Gonyaulax digitale</i>
<i>Brigantedinium simplex</i>	<i>Protooperidinium conicoides</i>
<i>Brigantedinium</i> spp. (RB)	Peridiniaceae
<i>Islandinium?</i> <i>cezare</i>	Unknown
cf. <i>Islandinium minutum</i>	<i>Protooperidinium</i> sp. indet.
<i>Islandinium</i> sp.	<i>Protooperidinium</i> sp. indet.
<i>Lingulodinium machaerophorum</i>	<i>Gonyaulax polyedra</i>
<i>Nematosphaeropsis labyrinthus</i>	<i>Gonyaulax spinifera</i> complex
Cyster av <i>Pentapharsodinium dalei</i>	<i>Pentapharsodinium dalei</i>
Cyster av <i>Polykrikos kofoidii</i>	<i>Polykrikos kofoidii</i>
Cyster av <i>Protooperidinium americanum</i>	<i>Protooperidinium americanum</i>
Cyster av <i>Protoceratium reticulatum</i>	<i>Protoceratium reticulatum</i>
<i>Selenopemphix quanta</i> s.l.	<i>Protooperidinium conicum</i>
<i>Spiniferites belerius</i>	<i>Gonyaulax scrippsae</i>
<i>Spiniferites bulloideus</i>	<i>Gonyaulax baltica</i>
<i>Spiniferites elongatus</i>	<i>Gonyaulax elongata</i>
<i>Spiniferites hyperacanthus</i>	<i>Gonyaulax</i> sp. indet.
<i>Spiniferites membranaceus</i>	<i>Gonyaulax membranacea</i>
<i>Spiniferites mirabilis</i>	<i>Gonyaulax spinifera</i> complex
<i>Spiniferites pachydermus</i>	<i>Gonyaulax</i> sp. indet.
<i>Spiniferites ramosus</i>	<i>Gonyaulax spinifera</i> complex
<i>Spiniferites</i> spp. indet	Unknown
<i>Trinovantedinium applanatum</i>	<i>Protooperidinium shanghaiense</i> Gu et al., 2015
Unidentifiserte dinocyster	
Akritarker	
<i>Michhystridium</i> spp.	
Tinntinider	
<i>Hexasterias problematica</i>	
<i>Halodinium</i> spp.	
Lorica av <i>Parafavella denticulata</i>	
Foraminiferer	
Organiske hinner av foraminiferer	
("foraminifer lining")	
Copepod egg	
Cf. egg av krepsdyr (Crustacea)	

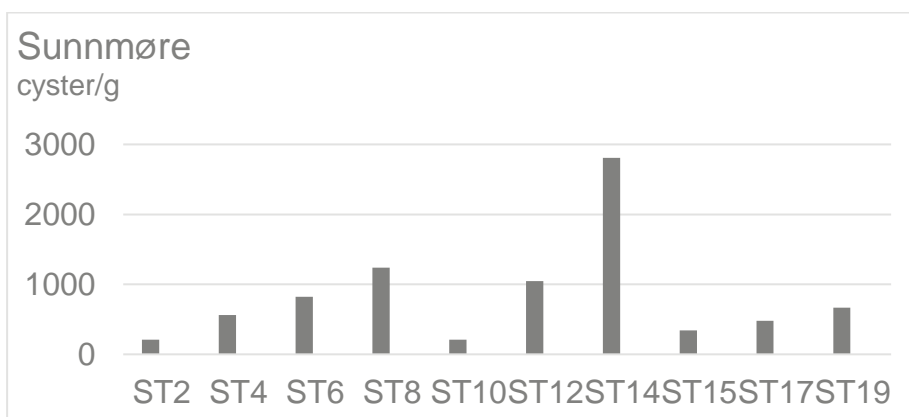
Tabell 2. Artsliste med dinocystene og de vanligste marine palynomorfene i prøvene. Navnet på både dinocysten (hvilesporen) og det frittstående stadiet, dinoflagellaten, er angitt.



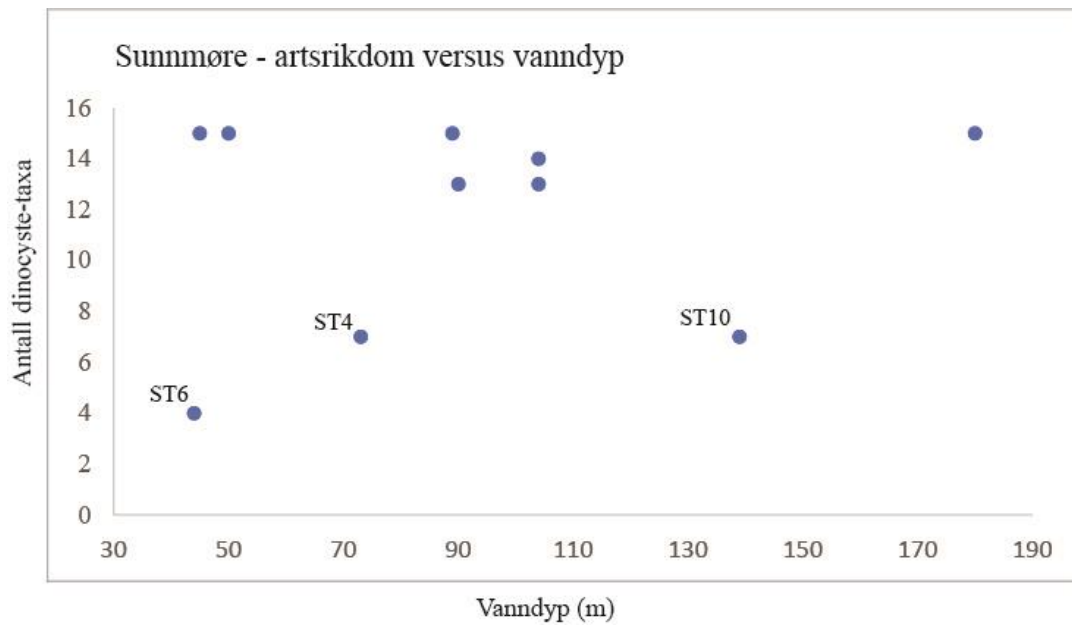
Figur 3a. Antall talte dinocyster på Sunnmøre. ST: Stasjonsnummer, n: antall talte individer.



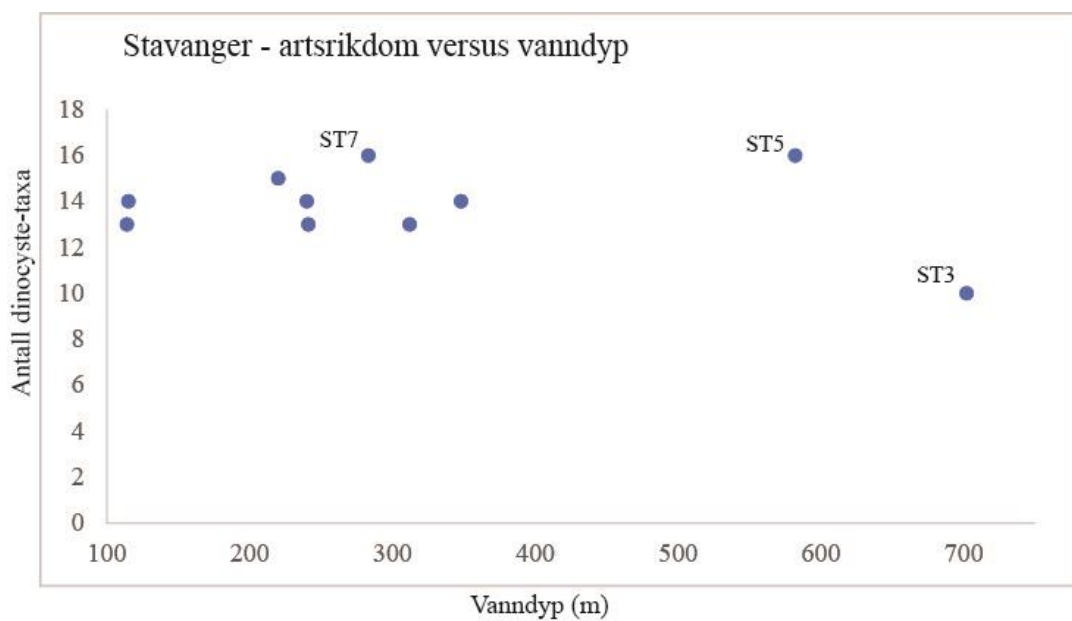
Figur 3b. Antall talte dinocyster i Stavanger. ST: Stasjonsnummer, n: antall talte individer.



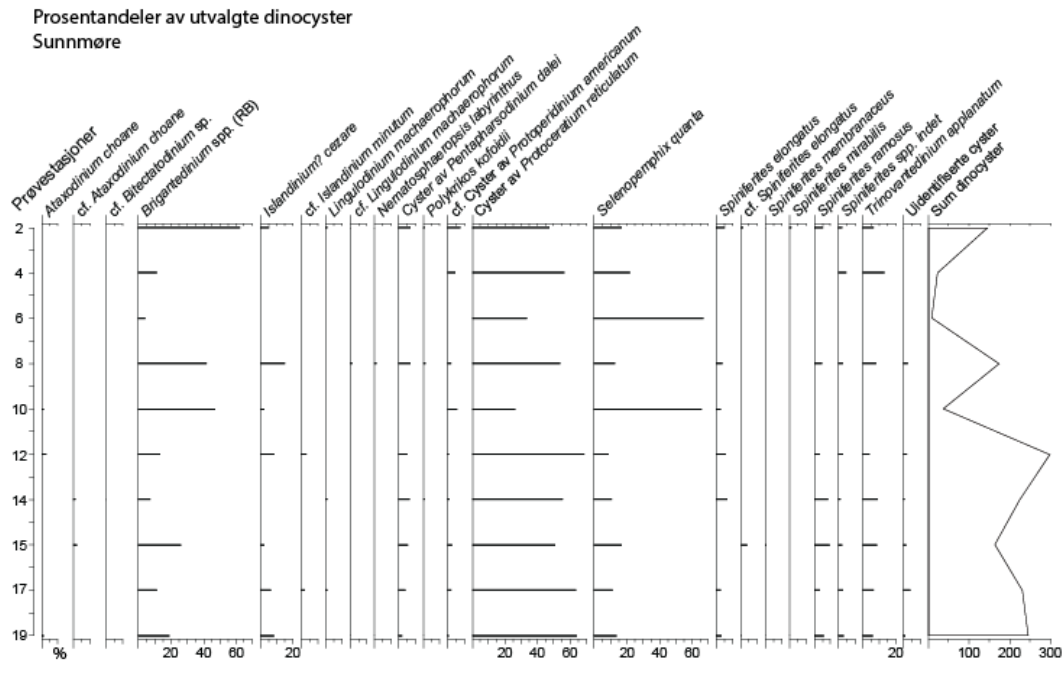
Figur 4. Dinocystekonsentrasjon på Sunnmøre. Denne varierer fra 210 til 2806 cyster/g. Cyster/g: antall cyster per gram tørt sediment. ST: Stasjonsnummer.



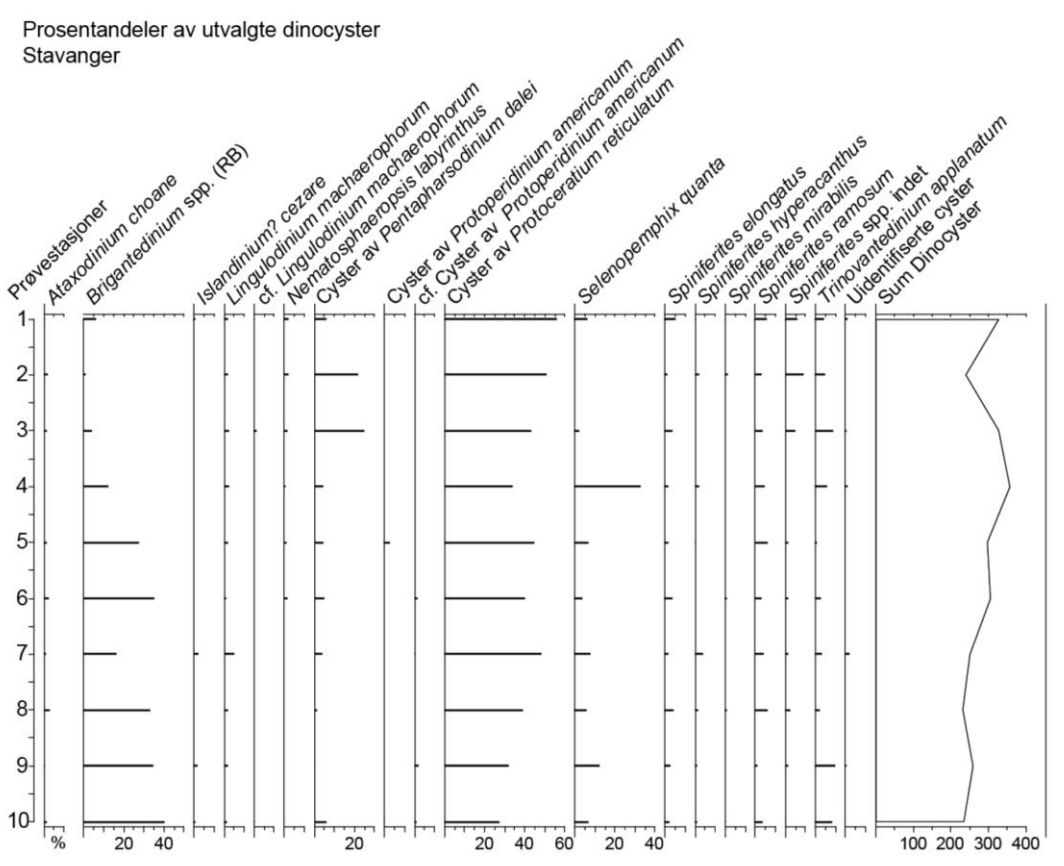
Figur 5a. Antall registrerte dinocyste-taxa på Sunnmøre versus vanndyp (m). ST: Stasjonsnummer.



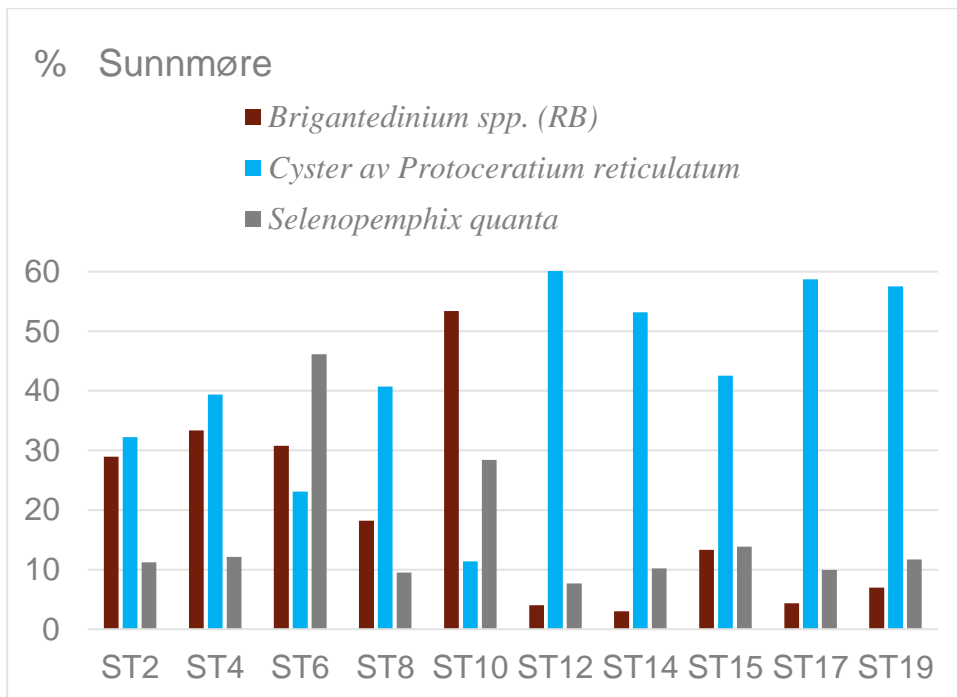
Figur 5b. Antall registrerte dinocyste-taxa i Stavanger versus vanndyp (m). ST: Stasjonsnummer.



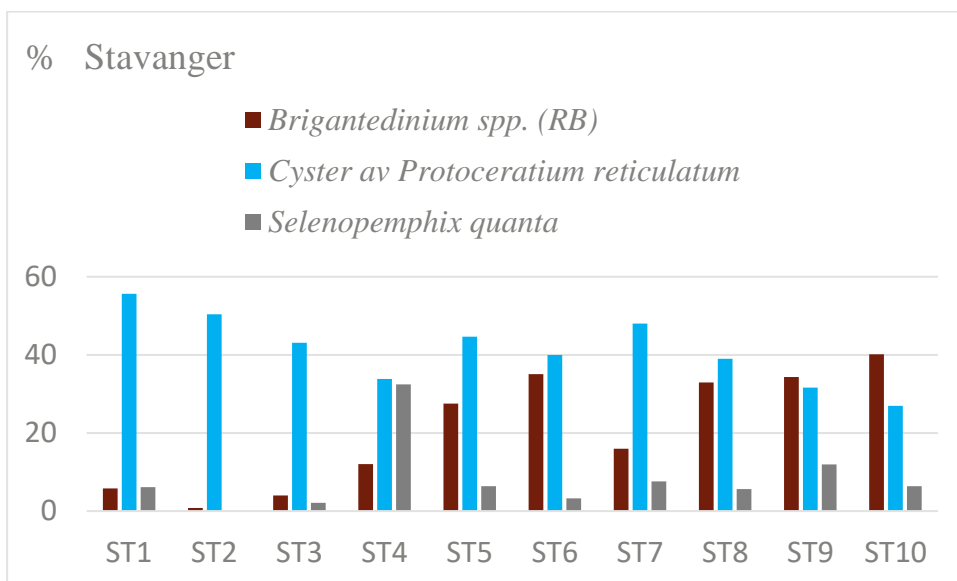
Figur 6a. Dinocystespektrum med prosentandeler av utvalgte dinocyster på Sunnmøre. Antall talte dinocyster i prøvene er vist til høyre.



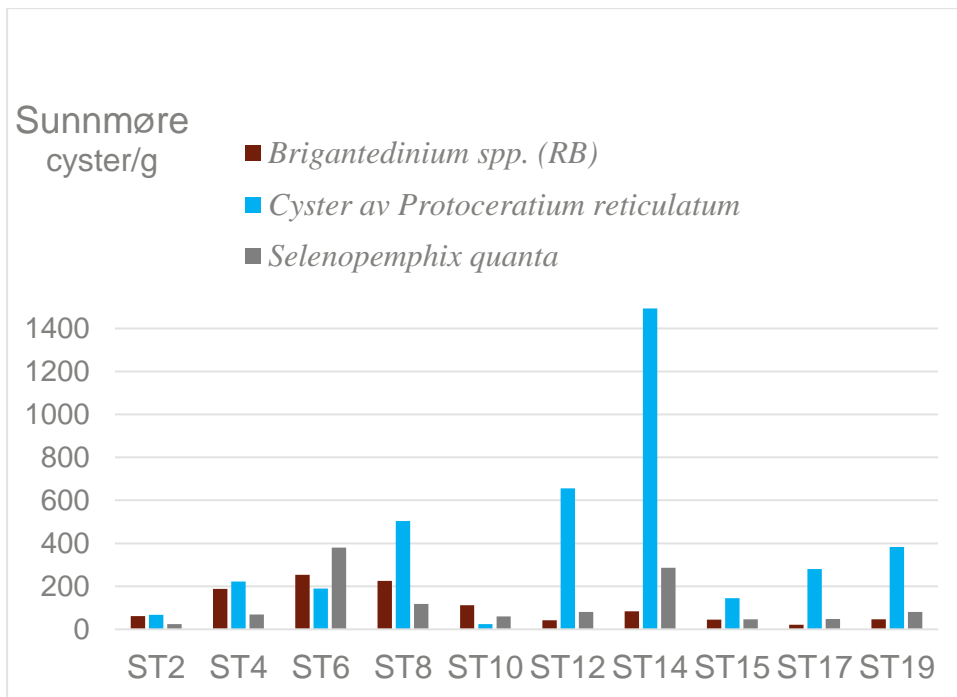
Figur 6b. Dinocystespektrum med prosentandeler av utvalgte dinocyster i Stavanger. Antall talte dinocyster i prøvene er vist til høyre.



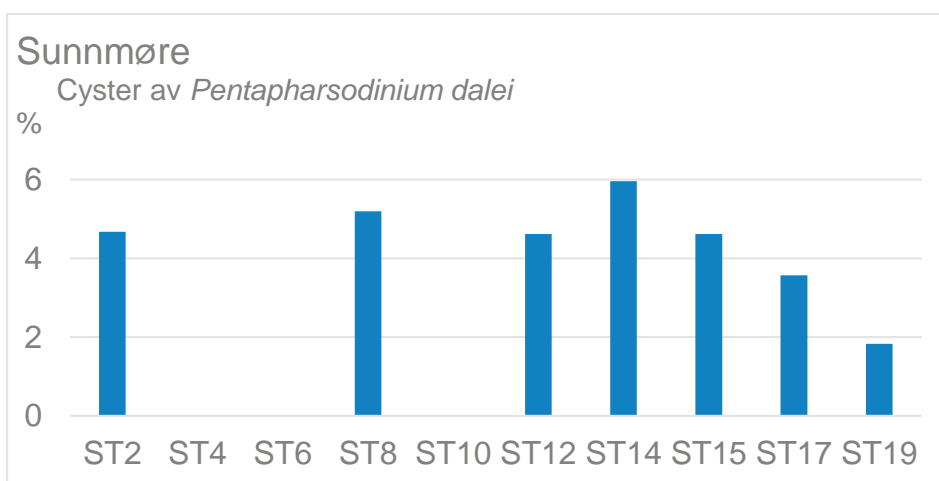
Figur 7a. Prosentandel av cyster av *Protoceratium reticulatum*, *Brigantedinium spp.* og *Selenopemphix quanta* på Sunnmøre. ST: Stasjonsnummer.



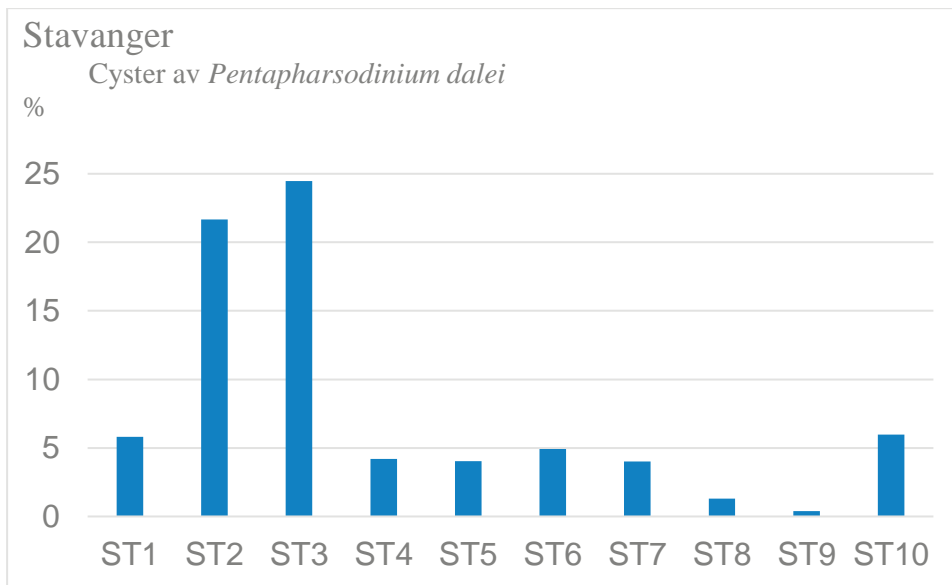
Figur 7b. Prosentandel av cyster av *Protoceratium reticulatum*, *Brigantedinium spp.* og *Selenopemphix quanta* i Stavanger. ST: Stasjonsnummer.



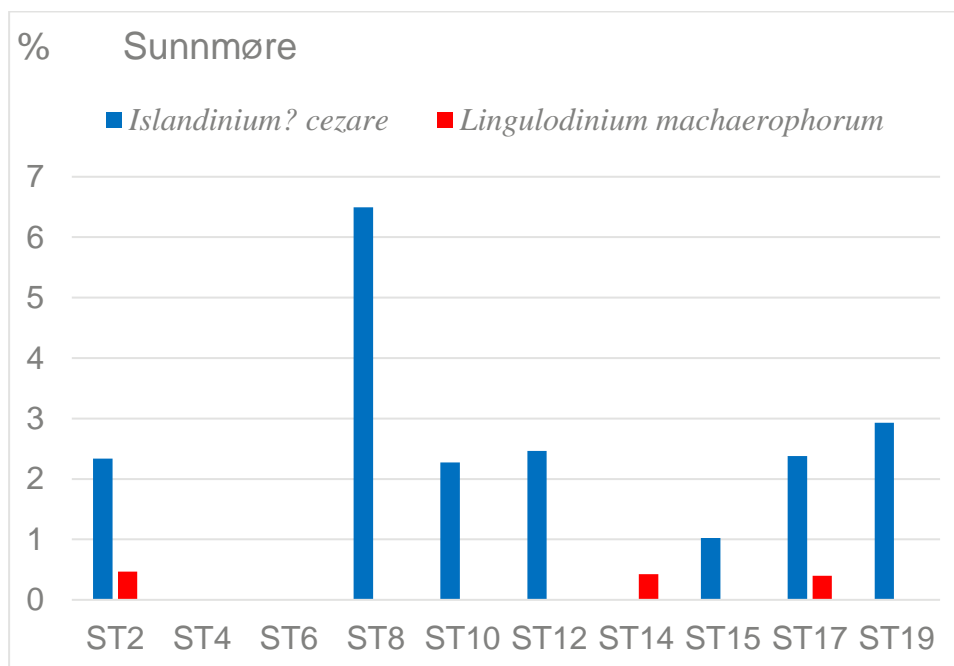
Figur 7c. Konsentrasjon av cyster av *Protoceratium reticulatum*, *Brigantedinium* spp. og *Selenopemphix quanta* på Sunnmøre. Cyster/g: antall cyster per gram tørt sediment). ST: Stasjonsnummer.



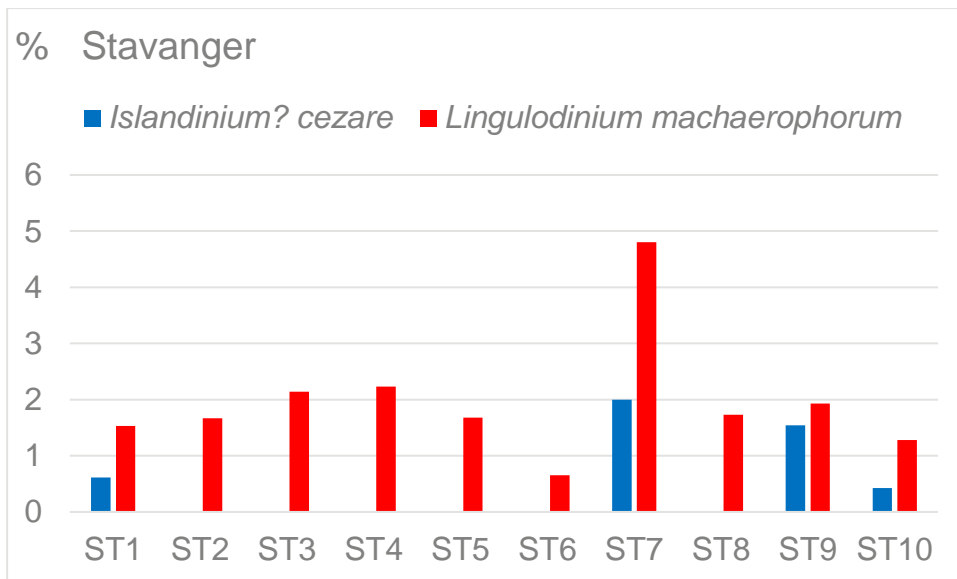
Figur 8a. Prosentandel av *Pentapharsodinium dalei* på Sunnmøre. ST: Stasjonsnummer.



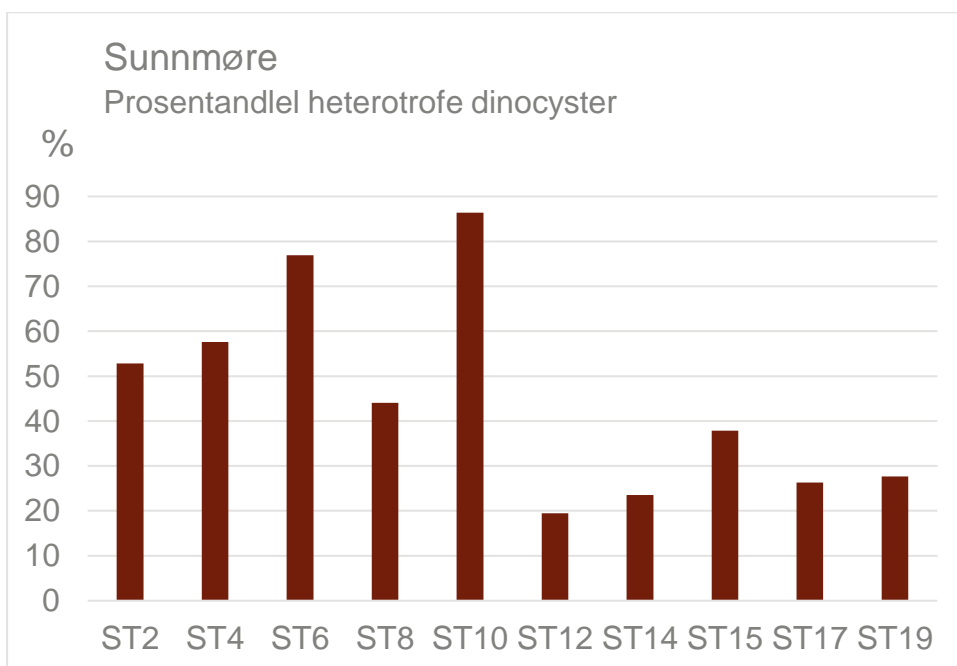
Figur 8b. Prosentandel av *Pentapharsodinium dalei* i Stavanger. ST: Stasjonsnummer.



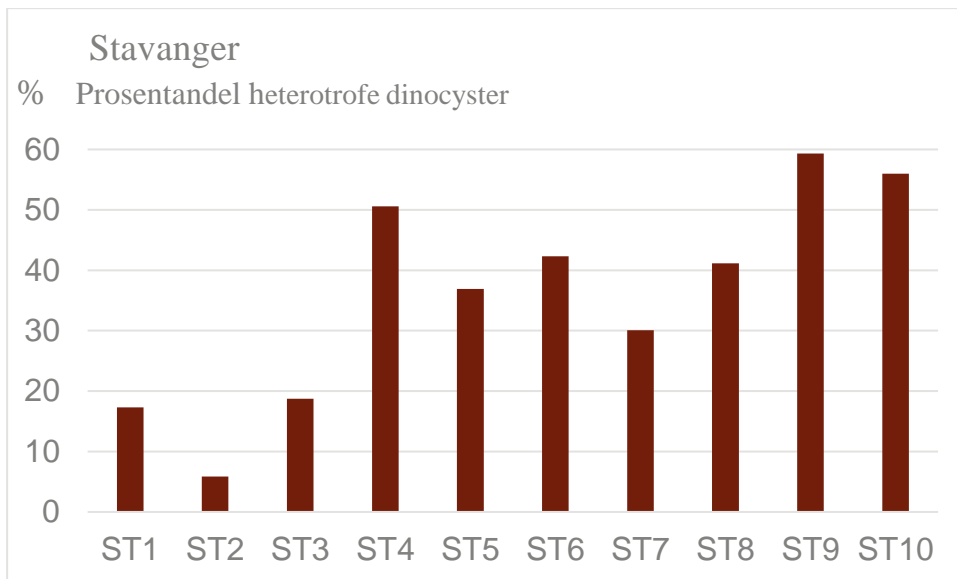
Figur 9a. Prosentandel *Islandinium? cezare* og *Lingulodinium machaerophorum* på Sunnmøre. ST: Stasjonsnummer.



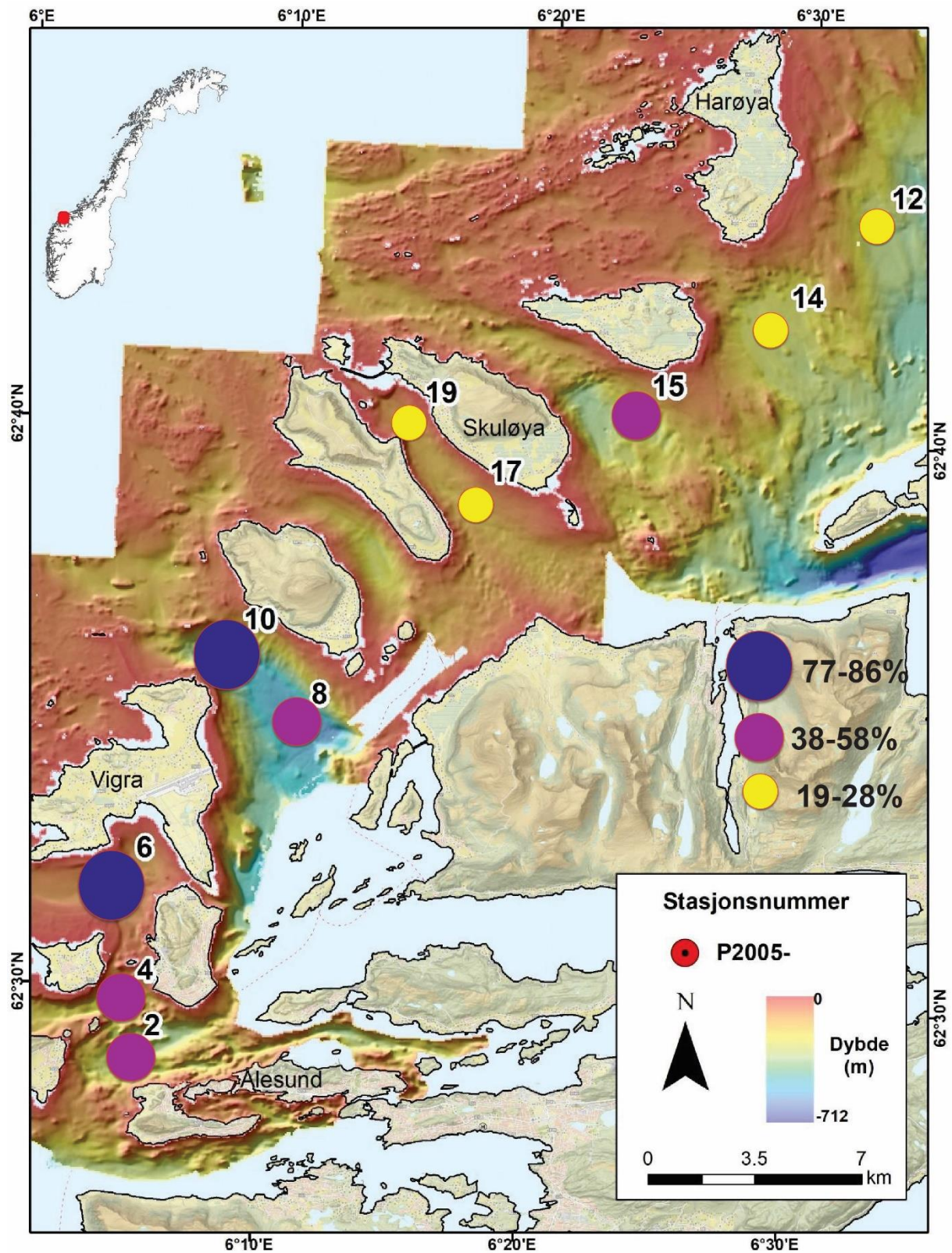
Figur 9b. Prosentandel *Islandinium? cezare* og *Lingulodinium machaerophorum* i Stavanger. ST: Stasjonsnummer.



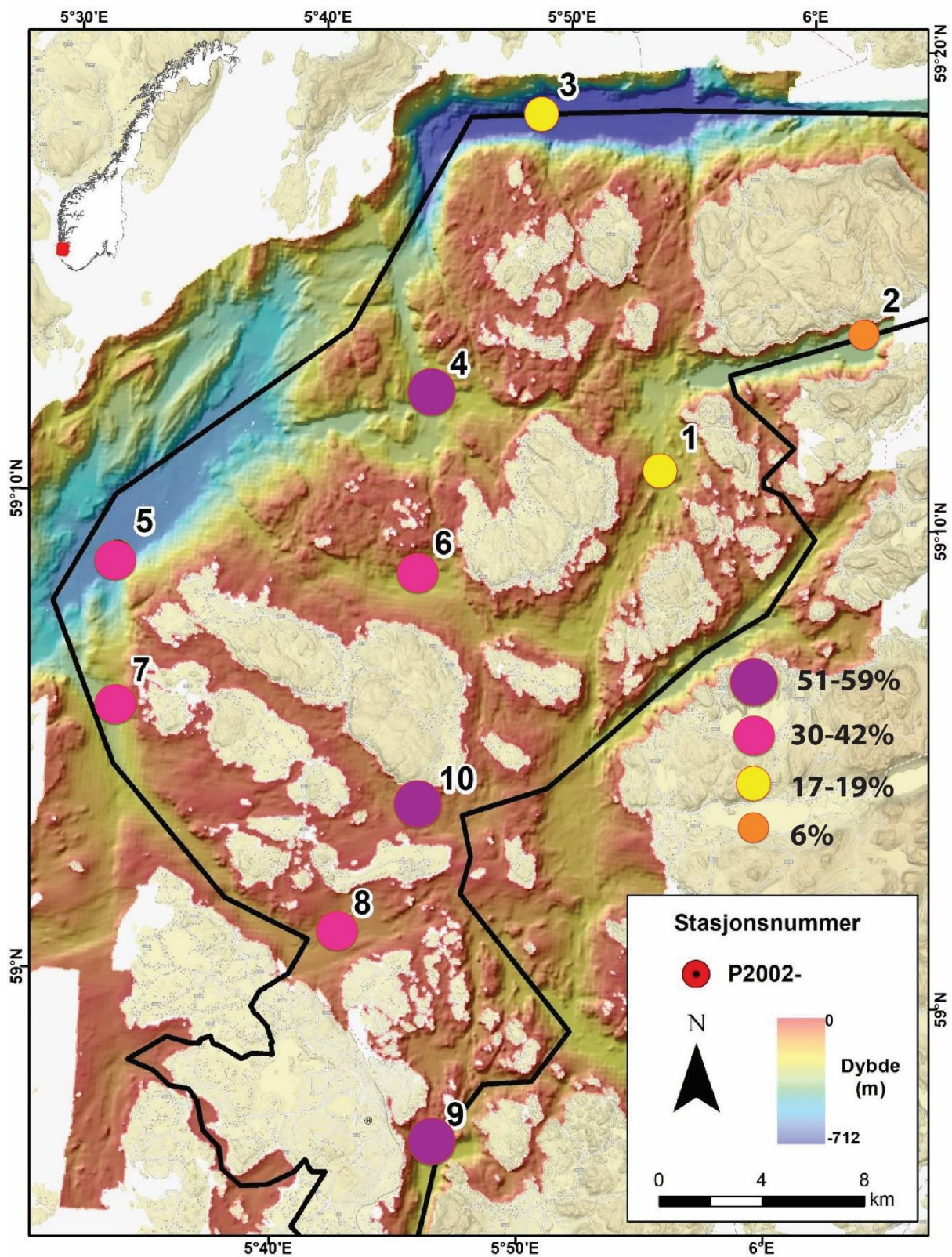
Figur 10a. Prosentandel heterotrofe dinocyster på Sunnmøre (histogram). ST: Stasjonsnummer.



Figur 10b. Prosentandel heterotrofe dinocyster i Stavanger (histogram). ST: Stasjonsnummer.



Figur 11a. Prosentandel heterotrofe dinocyster på Sunnmøre illustrert på kart. De nummererte punktene angir stasjonene.



Figur 11b. Prosentandel heterotrofe dinocyster i Stavanger illustrert på kart. De nummererte punktene angir stasjonene.

4.2 Artssammensetning på de ulike stasjonene

Kun dinocystene som utgjør størst andel i prøvene er listet under. Antall talte individer (*n*) og vanndyp er listet. Andre arter i prøvene enn de som er listet her er referert til i teksten og finnes i Figur 6-9.

4.2.1 Sunnmøre

På Sunnmøre varierer antallet registrerte dinocyste-taxa fra 4-15 med laveste antall på stasjon 6 Synesvikane (Figur 5a, tabell 1). Stasjonene med nest laveste antall er stasjonene 4 NV for Sjongfluda og 10 Vigrafjorden N for Roald, som hver har 7 registrerte dinocyste-taxa. De resterende stasjonene har 13 til 15 dinocyste-taxa.

Stasjon 2 Valderhaugfjorden (*n*=214), vanndyp 104 m

Cyster av *P. reticulatum* utgjør 32%. Andelen heterotrofe arter er 53%, hvorav *Brigantedinium* spp. utgjør 29% og *S. quanta* 11%. Den beregnede cystekonsentrasjonen er blant de laveste (211 cyster/g).

Stasjon 4 Sjongfluda (*n*=33), vanndyp 73 m

Prøven skiller seg ut ved å ha lavt antall talte individer og få dinocystearter. Kun 7 dinocyste-taxa er registrert. Cyster av *P. reticulatum* (39%) og også *Brigantedinium* spp. (33%) utgjør en signifikant andel. Andelen heterotrofe arter er 58%. Blant disse utgjør *S. quanta* 12% og *T. applanatum* 9%. Cystekonsentrasjonen er 563 cyster/g. Det lave antallet talte cyster utgjør en usikker basis for karakterisering av miljøet.

Stasjon 6 Synesvikana (*n*=13), vanndyp 44 m

Denne prøven har det laveste antallet talte cyster i området. Kun 4 ulike dinocyste-taxa er registrert, som er det laveste i området. Andelen cyster av *P. reticulatum* utgjør 23%. Heterotrofe arter utgjør er 77% hvorav *Brigantedinium* spp. utgjøre 31% og *S. quanta* 46%. Den beregnede cystekonsentrasjonen er 823 cyster/g. Beregninger og miljøkarakteristikk basert på de lave tellingene er upålitelig.

Stasjon 8 Vigrafjorden Ø for Roald (*n*=231), vanndyp 180 m

Andelen cyster av *P. reticulatum* utgjør 41%. Andelen heterotrofe arter er >44% hvorav *Brigantedinium* spp. utgjør 18%, *S. quanta* 10%, og *T. applanatum* og *I.? cezare* hver 6%. Den beregnede cystekonsentrasjonen er 1239 cyster/g.

Stasjon 10 Vigrafjorden N for Roald (*n*=88), vanndyp 139 m

Artsrikdommen (7 registrerte dinocyste-taxa) her er betraktelig lavere enn på stasjon 8 lengre inne i fjorden. Cyster av *P. reticulatum* utgjør kun 11%. Prøven skiller seg ut ved å ha den høyeste registrerte andel av heterotrofe arter på 86% hvorav *Brigantedinium* spp. og *S. quanta* utgjør henholdsvis 53 og 28%. Den beregnede cystekonsentrasjonen er 210 cyster/g. Antall talte individer er relativt lavt.

Stasjon 12 Harøyfjorden ved Harøya (n=322), vanndyp 104 m

Denne prøven har den høyeste registrerte andelen av cyster av *P. reticulatum* (63%) og den laveste registrerte andel av heterotrofe arter på 19%. Av disse utgjør *Brigantedinium* spp. 4% og *S. quanta* 8%. Cystekonsentrasjonen er 1045 cyster/g.

Stasjon 14 Harøyfjorden ved Fjørtofta (n=235), vanndyp 89 m

Artsrikdommen er noe lavere enn på stasjon 12 i samme fjord. Ellers likner den på artssammensetningen på stasjonen 12 ved sin høye andel cyster av *P. reticulatum* (53%) og sin lave andel *Brigantedinium* spp. (3%). Andelen heterotrofe arter er på 24% hvorav *S. quanta* utgjør 10%. Den beregnede cystekonsentrasjonen på 2806 cyster/g er den høyeste registrerte verdien i området.

Stasjon 15 Nogvafjorden (n=195), vanndyp 90 m

Cyster av *P. reticulatum* utgjør 43%. Andelen *Brigantedinium* spp. på 13% er noe høyere enn på stasjonene i Harøyfjorden og i Longvafjorden. *S. quanta* (14%) har litt forhøyet verdi. Heterotrofe arter utgjør 38% og er høyere enn på stasjonene i Harøyfjorden. Cystekonsentrasjonen er 340 cyster/g.

Stasjon 17 Longvafjorden SØ (n=252), vanndyp 50 m

Prøven er ikke så ulik prøvene i Harøyfjorden. Cyster av *P. reticulatum* utgjør 59%. Heterotrofe arter er på 26%. Av disse utgjør *S. quanta* 10% og *Brigantedinium* spp. 4%. Cystekonsentrasjonen er 477 cyster/g.

Stasjon 19 Longvafjorden NV (n=273), vanndyp 45 m

Cyster av *P. reticulatum* utgjør 58%. Andelen heterotrofe arter er 28%. Av disse utgjør *S. quanta* 12% og *Brigantedinium* spp. 7%. Prøven er ganske lik den på stasjon 17, SØ i samme fjord og de i Harøyfjorden. Cystekonsentrasjonen er 666 cyster/g.

4.2.2 Stavanger

Stasjonene i Stavangerområdet har 10-16 registrerte dinocyste-taxa med det høyeste registrerte antallet på stasjon 5 Ytre Boknafjorden og 7 Kvitsøyfjorden (Figur 5b, tabell 1). Det laveste antallet på 10 taxa er registrert på stasjon 3 Nedstrandsfjorden.

Stasjon 1 Finnøyfjorden, (n=325), vanndyp 241 m

Cyster av *P. reticulatum* utgjør 56%, som er den høyeste registrerte andelen av denne arten i Stavanger. Andelen heterotrofe arter er 17%, hvorav *Brigantedinium* spp. utgjør kun 6%. *T. applanatum* (4%) har litt høyere andel enn i mer åpne områder som ytre Boknafjorden (stasjon 5).

Stasjon 2 Gardsundfjorden (n=240), vanndyp 348 m

P. reticulatum utgjør 50%. Prøven skiller seg ut ved sin høye andel av cyster av *P. dalei* på 22%. Uidentifiserte individer av slekten *Spiniferites* utgjør 9%. Prøven har den laveste andelen av heterotrofe arter (6%) i Stavangerområdet, hvorav *T. applanatum* utgjør 5% og *Brigantedinium* spp. 1%.

Stasjon 3 Nedstrandsfjorden (n=327), vanndyp 702 m

Cyster av *P. reticulatum* utgjør 43%. I likhet med prøven fra stasjon 2 Gardsundfjorden skiller prøven seg ut ved sin høye andel av cyster av *P. dalei* (24%). Andelen heterotrofe dinocyster utgjør 19%. Av disse utgjør *Brigantedinium* spp. 4% og *T. applanatum* 9%.

Stasjon 4 NV for Finnøy (n=358), vanndyp 312 m

Cyster av *P. reticulatum* utgjør 34%. Andelen heterotrofe arter er 51% hvorav *Brigantedinium* spp. utgjør 12%, *S. quanta* 32%, som er den høyeste registrerte verdien av denne i området, og *T. applanatum* 6%.

Stasjon 5 i Ytre Boknafjorden (n=298), vanndyp 582 m

Cyster av *P. reticulatum* utgjør 45%. Andelen heterotrofe dinocyster er 37%, hvorav *Brigantedinium* spp. utgjør 25%, og *S. quanta* og *T. applanatum* henholdsvis 6% og 4%.

Stasjon 6 Taljefjorden (n=305), vanndyp 220 m

Cyster av *P. reticulatum* utgjør 40%. Andelen heterotrofe arter er 42% hvorav *Brigantedinium* spp. utgjør 35%.

Stasjon 7 Kvitsøyfjorden (n=250), vanndyp 283 m

Artssammensetningen er ikke ulik den på stasjon 5 i ytre Boknafjorden ved blant annet å ha en høy andel cyster av *P. reticulatum* (48%). Andelen heterotrofe arter er 30%, hvorav *Brigantedinium* spp. og *S. quanta* utgjør henholdsvis 14% og 8%. Denne prøven har den høyeste registrerte andel av *L. machaerophorum* (5%). Prøven skiller seg også ut ved å ha den høyeste registrerte andelen *S. hyperacanthus* (4%) i dette studiet.

Stasjon 8 Åmøyfjorden (n=231), vanndyp 114 m

Denne prøven er heller ikke så ulik den på stasjon 5 i ytre Boknafjorden ved sin relativt høye andel av cyster av *P. reticulatum* (39%). Andelen heterotrofe arter er 41% hvorav *Brigantedinium* spp. utgjør 29%.

Stasjon 9 Ytre Gandsfjorden (n=259), vanndyp 240 m

Cyster av *P. reticulatum* utgjør 32%, som er den laveste registrerte verdien av denne i Stavangerområdet etter stasjon 10 Hidlefjorden. Andelen heterotrofe arter på 59% er den høyest registrerte i området (Figur 10, se under). Av disse utgjør *Brigantedinium* 34%, og *S. quanta* og *T. applanatum* henholdsvis 12% og 10%. Sammen med stasjon 6 Taljefjorden og 10 Hidlefjorden er stasjonen blant de med høyest andel *Brigantedinium* spp.. Det er funnet mange intakte organiske hinner av hele foraminiferskall.

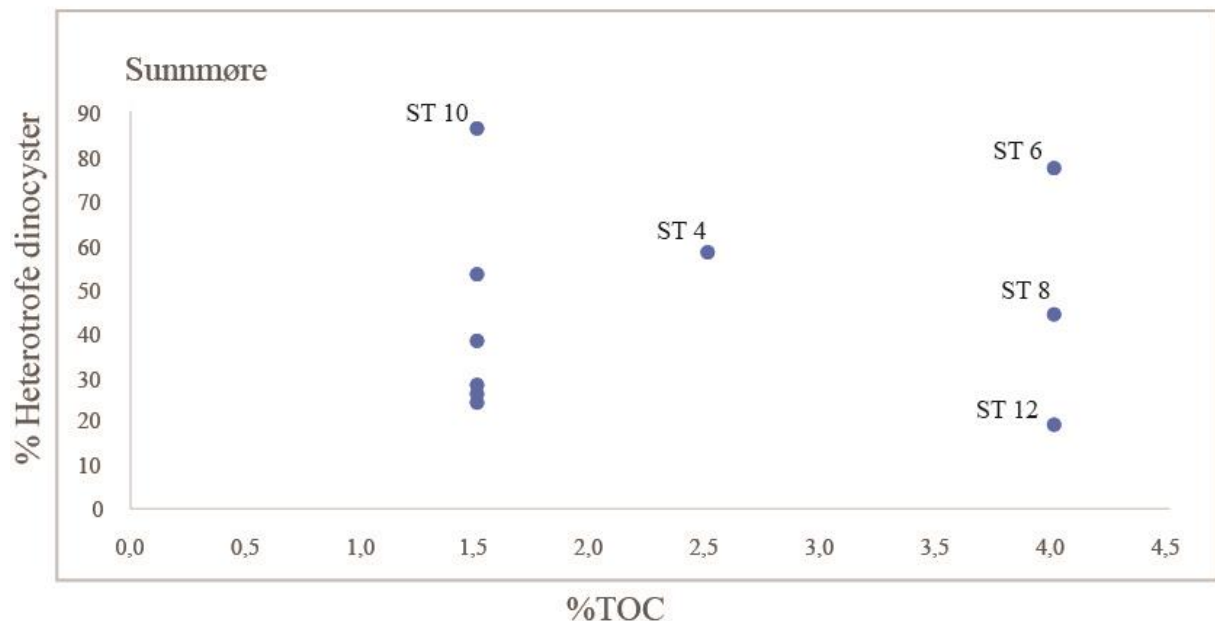
Stasjon 10 Hidlefjorden (n=234), vanndyp 115 m

Cyster av *P. reticulatum* utgjør 27%, som er den laveste registrerte i Stavangerområdet. Andelen heterotrofe arter er 56%, hvorav *Brigantedinium* spp. utgjør 40%, *T. applanatum* 8%, og *S. quanta* 6%. Stasjonen har den høyeste andelen heterotrofe arter i Stavangerområdet etter stasjon 9, og den høyeste andelen *Brigantedinium* spp. i området.

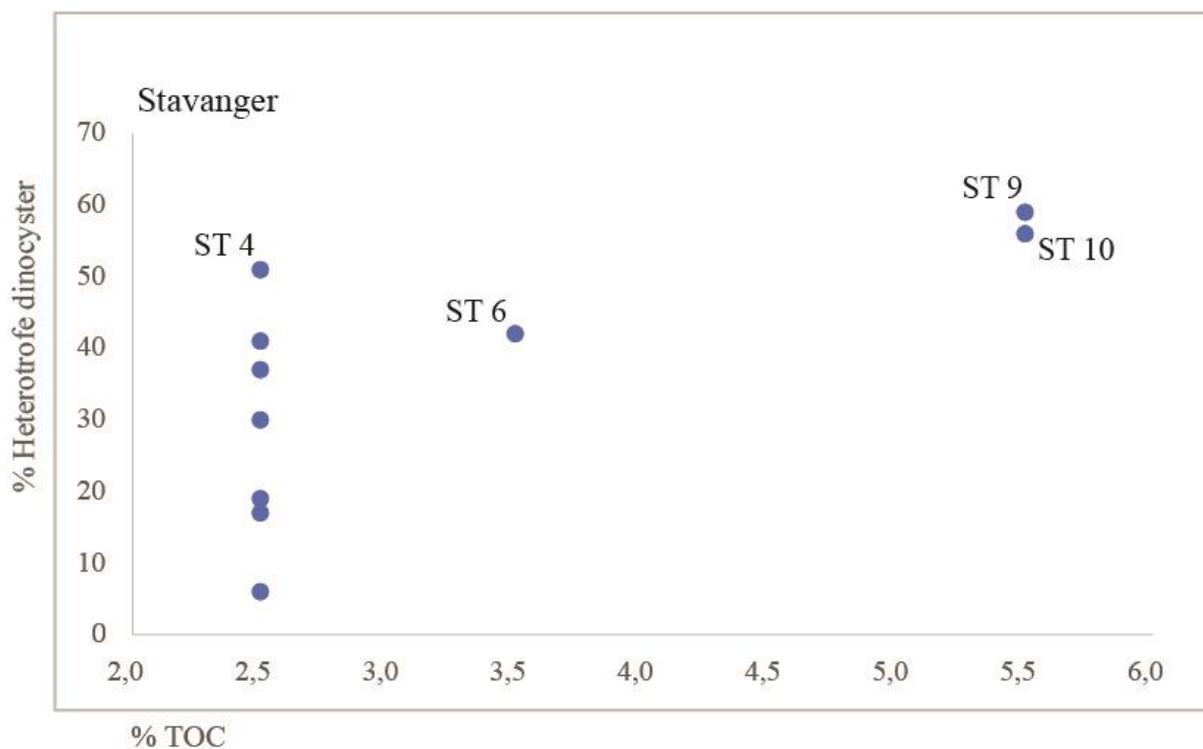
5. DISKUSJON

5.1 Relasjonen mellom heterotrofe arter og totalt organisk karbon (TOC)

Vi har undersøkt relasjonen mellom innhold av totalt organisk karbon (TOC) og andel heterotrofe arter (Figur 12, 13). På Sunnmøre er de høyeste verdiene av TOC (>4%) registrert på stasjonene 6 Synesvikane, 8 Vigráfjorden Ø for Roald og 12 Harøyfjorden ved Harøya (Knies et al. 2021a, b, Fig. 5) (Figur. 12). Også stasjon 4 NV for Sjongfluda litt forhøyet TOC (2-3%). Alle de andre stasjonene, inkludert stasjon 2 Valderhaugfjorden, har TOC-verdier på rundt 1-2%. Andelen heterotrofe arter er høyest (>50%) på stasjonene 10 Vigráfjorden N for Roald (86%), 6 Synesvikane (77%), 4 NV for Sjongfluda (58%) og 2 Valderhaugfjorden (53%) (med de respektive andelenene i parentes) (Figur 10a, 11a). Altså er det en relasjon mellom høyt TOC-innhold og høy andel heterotrofe arter på både stasjon 6 Synesvikane og 4 NV for Sjongfluda. Også på stasjon 8 Vigráfjorden Ø for Roald er det en relasjon mellom høyt TOC innhold (>4%) og høyt innhold av heterotrofe arter (44%), selv om andelen heterotrofe arter her er under 50% (Figur 12). På den fjerde stasjonen med høyt TOC-innhold, stasjon 12 Harøyfjorden ved Harøya, er det ingen relasjon mellom TOC-nivået og andel heterotrofe dinocyster, som er temmelig lav (19%).



Figur 12. Innhold av totalt organisk karbon (TOC) versus innhold av heterotrofe dinocyster på Sunnmøre. Kun stasjonsnumrene med de høyeste TOC-verdiene er vist. TOC-verdiene er hentet fra Knies et al. (2021b, Fig. 5) og er ikke eksakte. ST: Stasjonsnummer.



Figur 13. Innhold av totalt organisk karbon (TOC) versus innhold av heterotrofe dinocyster i Stavanger. Kun stasjonsnumrene med de høyeste TOC-verdiene er vist. TOC-verdiene er hentet fra Knies et al. (2021a, Fig. 5) og er ikke eksakte. ST: Stasjonsnummer.

I Stavanger er de høyeste TOC-verdiene registrert på stasjonene 9 Ytre Gandsfjorden (5-6%), 10 Hidlefjorden (5-6%) og på stasjon 6 Taljefjorden (3-4%), mens de høyeste andelene heterotrofe cyster (>50%) er på stasjon 9 Ytre Gandsfjorden (59%), 10 Hidlefjorden (56%) og 4 NV for Finnøy (51%) (Figur 10b, 11b, 13). Også stasjon 6 Taljefjorden har en relativt høy andel heterotrofe dinocyster på 42%. Her har altså alle stasjonene med registrerte høye TOC-verdier også høye andeler heterotrofe arter. Dermed er det med få unntak en relasjon mellom høye TOC-verdier og høye andeler heterotrofe arter i begge de to undersøkte områdene.

Når det gjelder stasjonene med relativt lave TOC-verdier, så varierer andeler heterotrofe arter over hele spekteret fra lave til høye verdier. For eksempel har stasjon 4 NV for Finnøy en høy andel heterotrofe dinocyster (51%) uten at TOC-verdien er særlig høy. Denne stasjonen skiller seg ut ved sin høye andel *S. quanta* (32%), mens *Brigantedinium* spp. utgjør 12%. Stasjoner med høy andel heterotrofe arter uten at det er registrert spesielt høye TOC-verdier på Sunnmøre er stasjon 10 Vigrafjorden N for Roald og stasjon 2 Valderhaugfjorden, som har henholdsvis 86 og 53% heterotrofe dinocyster. Årsaken til den høye andelen heterotrofe arter kan skyldes nedsatt utveksling av overflatevann, som indikert av den lave andelen på kun 11% av cyster av *P. reticulatum* på stasjon 10 Vigrafjorden N for Roald. Selv om andelen *S. quanta* her er høy (28%), kan den lave cystekonsentrasjon på 210 cyster/g tyde på at næringstilgangen ikke er særlig god. Videre har prøven på stasjon 2 Valderhaugfjorden mange likhetstrekk med den på stasjon 9 i Ytre Gandsfjorden i Stavangerområdet både med hensyn til artssammensetning og andel av spesifikke arter. Begge lokalitetene har høy andel heterotrofe cyster og litt redusert andel av cyster av *P. reticulatum*. En forskjell er at mens TOC verdien er høy i Ytre Gandsfjorden er denne ikke spesielt høy i Valderhaugfjorden. Prøven på stasjon 2 Valderhaugfjorden er også mer artsrik

enn den på stasjon 9 Ytre Gandsfjorden. Cystekonsentrasjonen som er svært lav i Valderhaugfjorden, kan dessverre ikke sammenlignes i de to områdene da den ikke kan beregnes i Ytre Gandsfjorden. I motsetning til stasjon 4 NV for Finnøy i Stavanger består de heterotrofe artene på stasjon 9 Ytre Gandsfjorden og 10 Hidlefjorden av en stor andel *Brigantedinium* spp. på henholdsvis 34 og 40%, mens de heterotrofe artene på stasjon 4 NV for Finnøy er dominert av *S. quanta*. Det tyder på at de heterotrofe artene på stasjon 4 NV for Finnøy kan ha en spesifikk næringskilde (se under). I likhet med stasjon 4 NV for Finnøy skiller stasjon 6 Synesvikane på Sunnmøre seg ut ved sin høye andel *S. quanta* (46%). Men i motsetning til stasjon 4 NV for Finnøy, har stasjon 6 på Sunnmøre høyt innhold av TOC. Dessverre er antall talte dinocyster ($n=31$) i prøven fra Sunnmøre er også for lavt til å gi en pålitelig miljø-karakteristikk.

5.1.2 Årsakssammenheng

Om det organisk tilførte materialet skyldes antropogent tilførte næringsstoffer eller andre kilder, er usikkert. Høye TOC-verdier kan være en indikasjon på en antropogen kilde. Lave andeler av cyster av *P. reticulatum* kan være en indikasjon på begrenset innstrømming av vannmasser fra mer åpne områder, men det er ikke nødvendigvis alltid tilfellet. Mest sannsynlig har den organiske næringskilden i de mest befolkningstette områdene, som lokalitet 9 Ytre Gandsfjorden og muligens også 10 Hidlefjorden i Stavangerområdet, sammenheng med kloakkutslipp. Om det samme gjelder stasjon 2 Valderhaugfjorden på Sunnmøre er mer usikkert, da TOC-verdien på denne stasjonen er relativt lav. Men både de lave TOC-verdiene og de lave cystekonsentrasjonsverdiene kan tyde på begrenset antropogent tilført organisk materiale. Andelen cyster av *P. reticulatum* på 32% indikerer litt redusert vannsirkulasjonen i forhold til de andre lokalitetene. Det kan være årsaken til den forhøyede andelen av heterotrofe dinocyster. Også på stasjon 4 NV for Sjongfluda på Sunnmøre tyder den reduserte andelen av cyster av *P. reticulatum* på 23% på begrenset sirkulasjon i vannet.

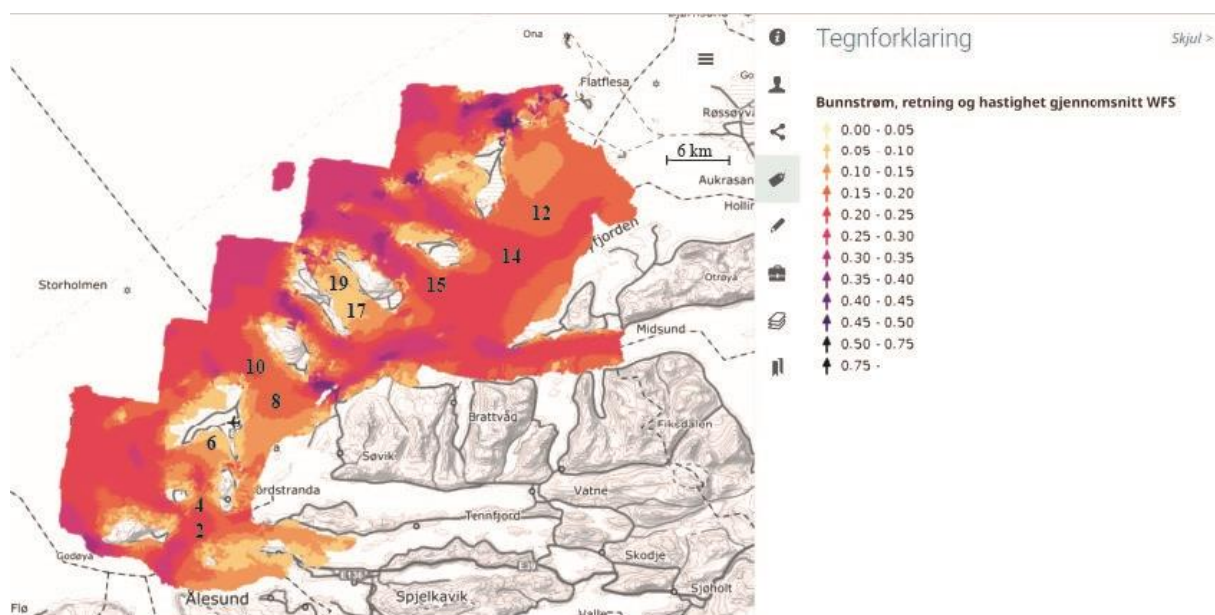
S. quanta er kjent for å ha økt forekomst i områder hvor næringsrikt vann strømmer opp til overflaten fra dypereliggende lag eller ved vannutløp. De høyeste forekomstene finnes gjerne der bunnvannet er anoksisk til oksisk (Zonneveld et al., 2013). Den høye andelen av *S. quanta* (32%) på stasjon 4 NV for Finnøy i Stavanger kan skyldes antropogene eller andre forhold, uten at vi kjenner til kilden. Kilden kan være tilførsel av næringsrikt vann fra dypereliggende vannlag. Tilslig av næringsrikt vann fra kloakk eller jordbruk kan heller ikke utelukkes. På stasjon 10 Vigrafjorden N for Roald på Sunnmøre hvor TOC-verdien også er lav, er andelen *S. quanta* også relativt høy (28%). Her finnes det ingen akvakultur, bortsett fra Akvakulturlokalitet 45122 Lausund, som ligger lengre inn i fjorden, nord for lokalitet 8 Vigrafjorden Ø for Roald, og sydøst for Lepsøya. Også stasjon 6 Synesvikane har høyt innhold av *S. quanta* (46%). Denne stasjonen har i motsetning til de to andre nevnte stasjonene høy TOC-verdi. Her er det påvist forhøyet verdi av miljøgiften BDE-209 (Knies et al. 2021b). Her ligger det også et akvakulturanlegg (Akvakulturlokalitet 39017 Vikane). Sammen med Stasjon 8 Vigrafjorden Ø for Roald har stasjonen de høyeste registrerte konsentrasjonene av svovel, tungmetaller og arsen (Knies et al. 2021b). Om det lave registrerte innholdet av dinocyster på disse lokalitetene skyldes miljøgifter er uvisst. Nedsatt lysgjennomtrengelighet, såkalt «shading» på grunn av høy partikkeltetthet i vannet kan være en årsak. Uansett vil en miljøtolkning på stasjon 6 Synesvikane og 4 NV for Sjongfluda på Sunnmøre være problematisk på grunn av det lave antallet registrerte dinocyster.

Den litt forhøyede andelen av *S. quanta* (12%) på stasjon 9 i ytre Gandsfjorden i Stavanger, i forhold til de andre stasjonene i dette området, kan muligens være en respons på økt belastning

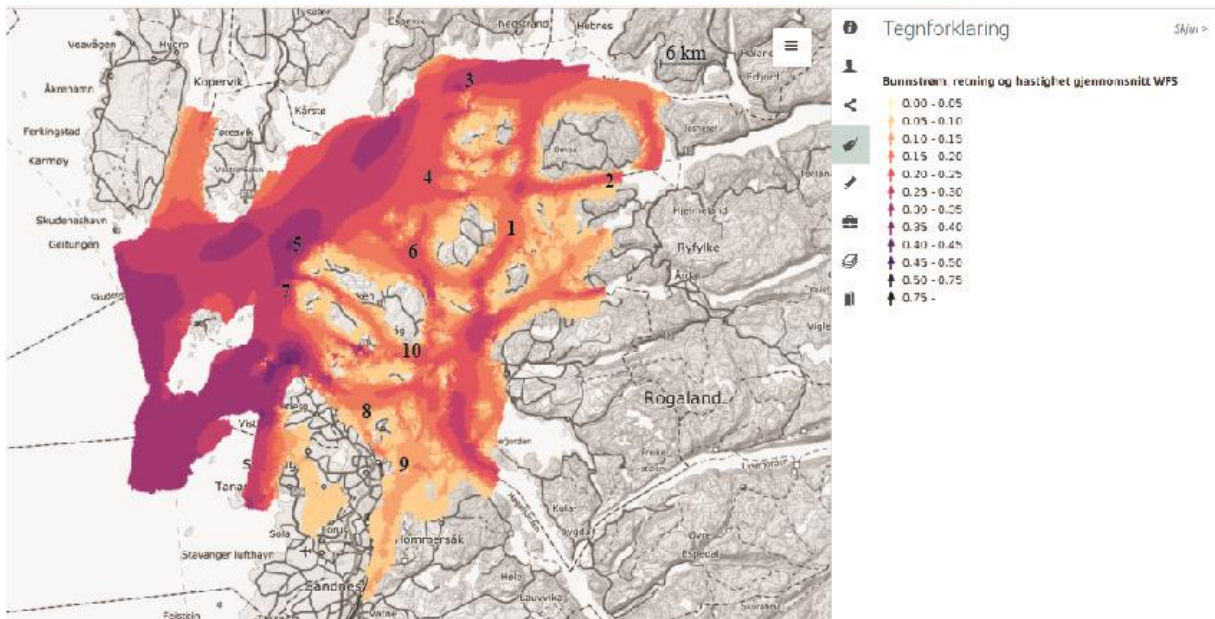
av organisk materiale, som indikert ved de høye TOC-verdiene og den høye andelen heterotrofe dinocyster. I dette området er det ingen akvakultur. Det har tidligere blitt dokumentert reduserende forhold i både bunnvannet og sedimentene avsatt noe tilbake i tid i dette området (Knies et al. (2021a). I henhold til Knies et al. (2021a) skiller Stasjon 9 Ytre Gandsfjorden seg ut fra de andre stasjonene i Stavangerområdet ved sitt høye innhold av TOC (5,5%). Denne lokaliteten har også den høyeste registrerte konsentrasjonen av svovel, og inneholder alle tungmetaller bortsett fra krom og arsen. I tillegg har stasjonen forhøyet verdi av miljøgiften BDE-209, som også påvist på stasjon 2 Valderhaugfjorden på Sunnmøre. Kjernen hentet opp på stasjon 9 Ytre Gandsfjorden, inneholder laminerte, uforstyrrede sedimenter, noe som har blitt tatt til inntekt for reduserende forhold (lavt oksygeninnhold) i vannet og i sedimentene (Knies et al. 2021a). Det har blitt foreslått at forhøyede verdier av tungmetaller på stasjon 9 i ytre Gandsfjorden skyldes den høye tiltrekningen organiske forbindelser har på tungmetaller under generelt reduserende forhold (lavt oksygeninnhold) i vannmassene og i sedimentene (Knies et al. 2021a). Selv om det kan ha vært reduserende forhold tidligere, tyder innholdet av flere hele foraminiferskall i havbunnsedimentet, observert i dette studiet, på at forholdene på denne stasjonen ikke er spesielt forringet med hensyn til oksygeninnhold i dag. Forholdene har sannsynligvis bedret seg. Årsaken til den høye andelen heterotrofe dinocyster på stasjon 10 Hidlefjorden i Stavanger, skyldes sannsynligvis også antropogen aktivitet. Et fiskerioppdrettsanlegg (Akvakulturlokalitet 14136 Hestholmen Ø) ligger i området og kan ha bidratt til økt næringstilgang.

5.2 Utveksling av vann mellom kystnære og mer åpne områder

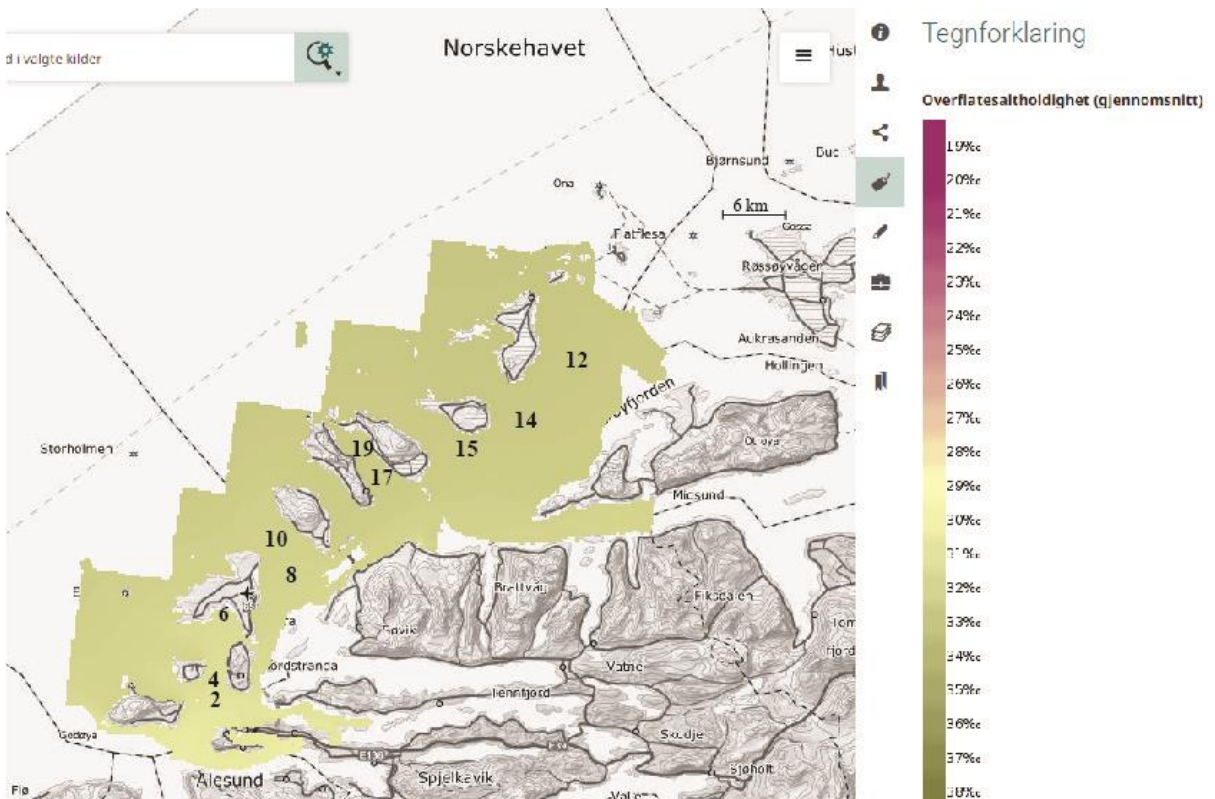
Dinocyster av den fototrofe *P. reticulatum*, som utgjør den største andelen i de fleste prøvene, er kjent å øke i andel fra kysten og ut mot åpent hav, hvor saltholdigheten er høyere. Selv om arten trives best i den nordatlantiske strømmen («Golfstrømmen»), er det planktoniske stadiet i stand til å utnytte de ustabile forholdene nær kysten hvor den kan opptre tallrik. Andelen av arten varierer avhengig av hvor god utveksling det er mellom kystvannet og vannet i mer åpne områder. Den signifikante andelen av denne arten i de fleste prøvene indikerer at overflatevannet på de aller fleste lokalitetene i begge områder er relativt godt ventilert (Figur 6, 7).



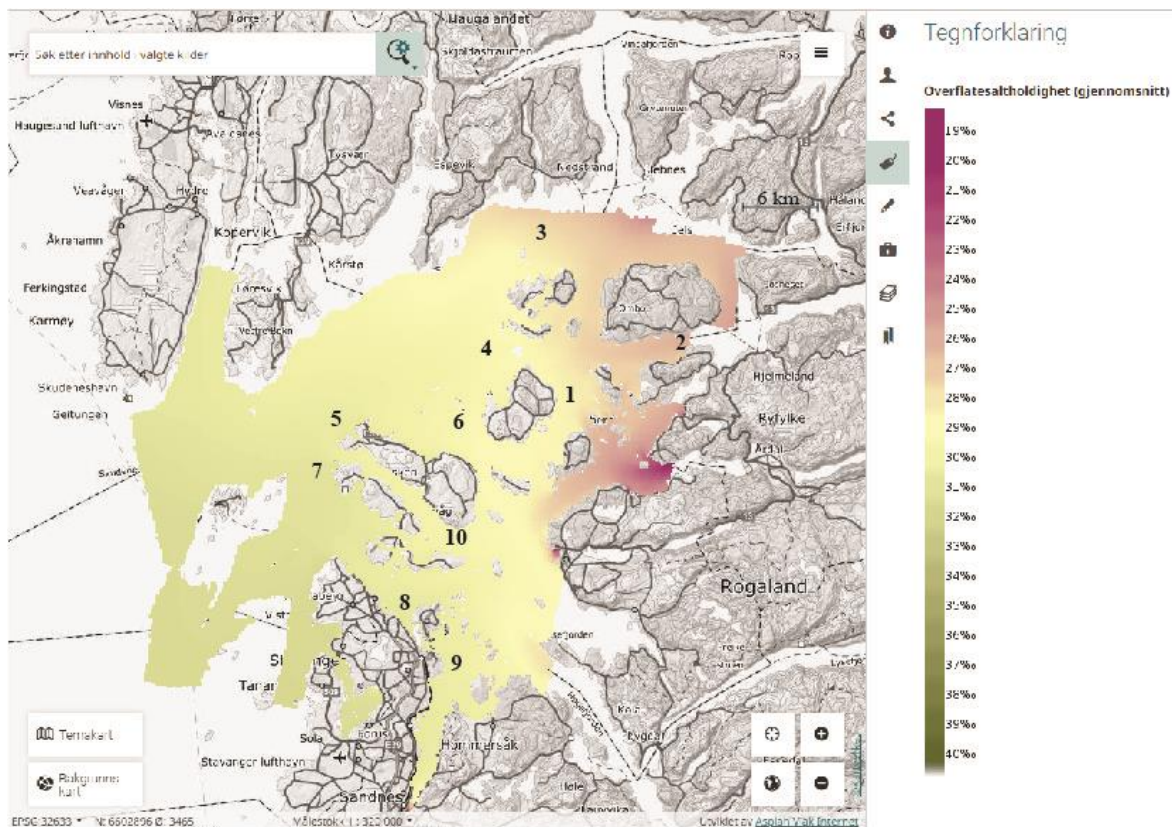
Figur 14. Interpolert intensitet til overflatevannstrømmen på Sunnmøre med prøvestasjoner (<https://marinegrunnkart.avinet.no>).



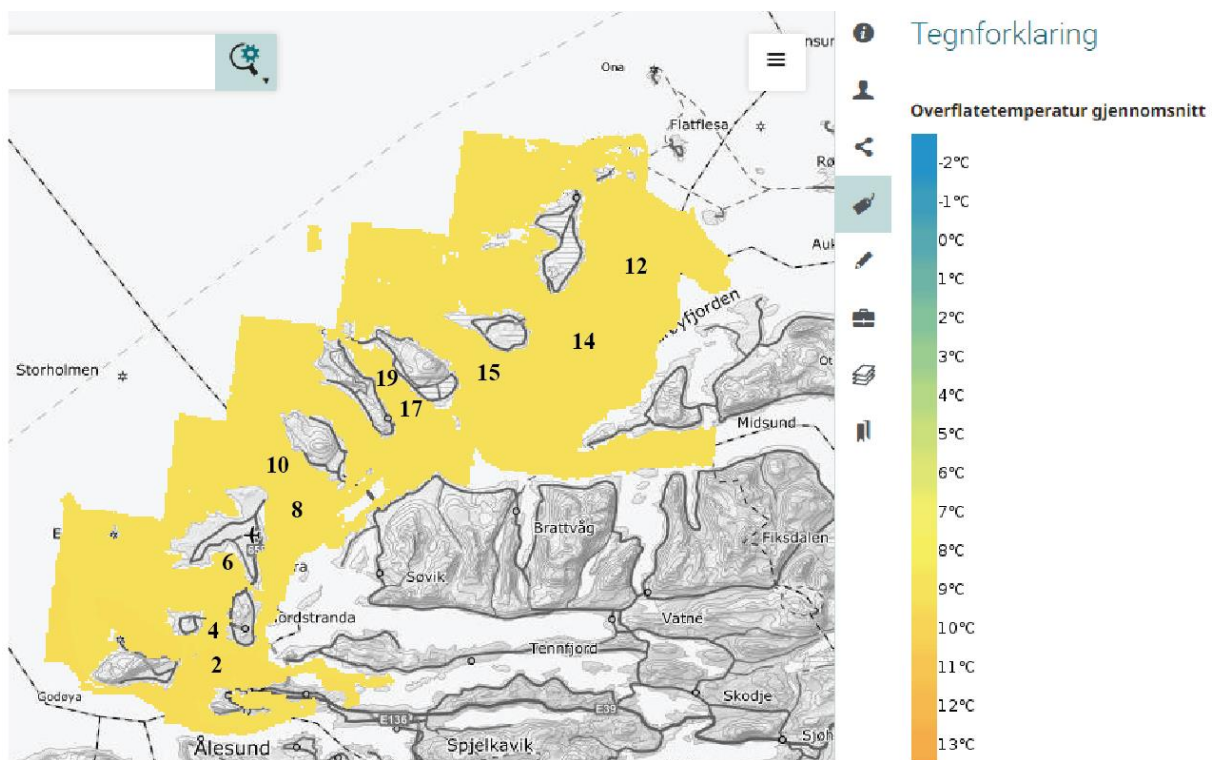
Figur 15. Interpolert intensitet til overflatevannstrømmen i Stavanger med prøvestasjoner (<https://marinegrunnkart.avinet.no>).



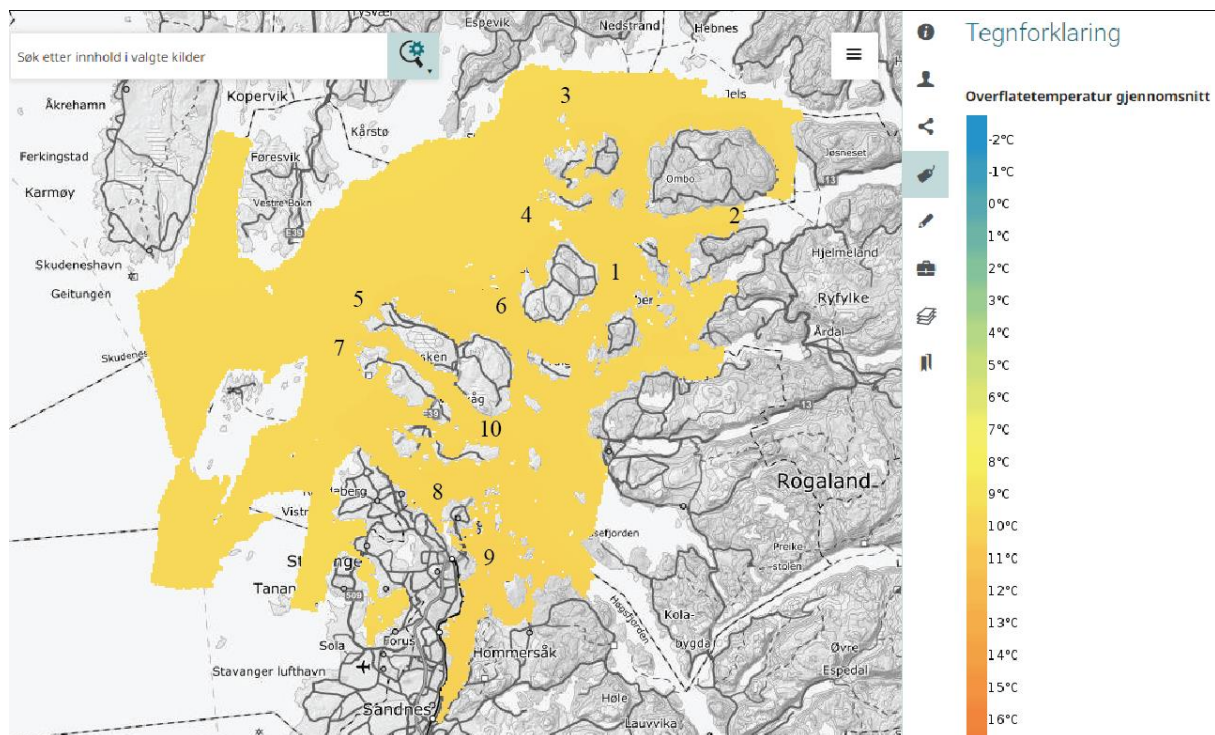
Figur 16. Gjennomsnittlig interpolert overflatevannsalinitet på Sunnmøre med prøvestasjoner (<https://marinegrunnkart.avinet.no>).



Figur 17. Gjennomsnittlig interpolert overflatevannsalinitet i Stavanger med prøvestasjoner (<https://marinegrunnkart.avinet.no/>).



Figur 18. Gjennomsnittlig interpolert overflatevannstemperatur på Sunnmøre med prøvestasjoner (<https://marinegrunnkart.avinet.no/>).



Figur 19. Gjennomsnittlig interpolert overflatevanntemperatur i Stavanger med prøvestasjoner (<https://marinegrunnkart.avinet.no/>).

Stasjonene på Sunnmøre ligger i et område som er mer eksponert mot åpent hav i forhold til prøvene i Stavangerområdet. Dette gjenspeiles i den generelt høyere interpolerte intensiteten i overflatevannstrømmen så vel som den relativt høyere overflatevannsaliniteten, og den generelt høyere prosentandelen av cyster av *P. reticulatum* (Figur 6a, 7a, c, 14-17). Stasjonene i den nordligste delen av undersøkelsesområdet på Sunnmøre (stasjon 12 og 14 i Harøyfjorden, og stasjonene 17 og 19 i Longvafjorden) har særlig høy andel (>50%) av cyster av *P. reticulatum* med maksimum andel på 63% på stasjon 12 Harøyfjorden ved Harøya. Disse stasjonene ligger i et område hvor intensiteten i overflatevannstrømmen er høyere enn i den sydligste delen av området på Sunnmøre (Figur 14). Også saliniteten er høyere i den nordligste delen av området i forhold til i den sydligste delen på Sunnmøre (Figur 16). I den sydligste delen har både stasjon 10 Vigrafjorden N for Roald og 6 Synesvikane andel av cyster av *P. reticulatum* på henholdsvis 11% og 23% (Figur 6a, 7a). Også stasjon 2 Valderhaugfjorden har noe redusert andel (32%) av denne i forhold til de andre stasjonene på Sunnmøre. Dette viser at variasjonen i andelen cyster av *P. reticulatum* gjenspeiler sirkulasjon i overflatevannmassene ved å ha størst andel på stasjonene i den nordlige delen i undersøkelsesområdet på Sunnmøre hvor intensiteten i overflatevannstrømmen er høyest (Figur 14). Et unntak er Longvafjorden (stasjonene 17 og 19) hvor den interpolerte overflatestrømmen viser relativt lav intensitet, mens andelen cyster av *P. reticulatum* er høy (Figur 6a, 7a, 14). Stasjoner i Stavangerområdet med relativt høy andel cyster av *P. reticulatum* (>40%) er stasjonene 1 Finnøyfjorden, 2 Gardsundfjorden, 3 Nedstrandsfjorden, 5 Ytre Boknafjorden, 6 Taljefjorden og 7 Kvitsøyfjorden. Dette er områder hvor den interpolerte overflatestrømmen har høyest intensitet (Figur 15). Stasjoner med lavest andel av cyster av *P. reticulatum* i dette området er stasjon 10 Hidlefjorden (27%), 9 Ytre Gandsfjorden (32%) og 4 NV for Finnøy (34%) (med respektive prosentandeler av arten i parentes) (Figur 6a, 7b). Selv om det er en viss utveksling av vannmasser i disse områdene, ligger disse stasjonene i områder hvor

den interpolerte overflatestrømmen har relativt lavere intensitet (Figur 15). Altså stemmer andelene av cyster av *P. reticulatum* i Stavangerområdet ganske godt overens med variasjonene i den interpolerte intensiteten til overflatevannstrømmen. Stasjonene 3 Nedstrandsfjorden og 2 Gardsundfjorden utmerker seg ellers ved å ha forhøyede verdier av cyster av *P. dalei* på henholdsvis 24 og 22% (Figur 1, 6a, 7a, 8). Disse stasjonene ligger i et område hvor den gjennomsnittlige interpolerte overflatesaliniteten er nedsatt (17). Cyster av *P. dalei* tilhører en fototrof dinoflagellat vel kjent for å blomstre opp i norske fjorder om våren, samtidig med diatomeer, uten å bli utkonkurrert av disse (Dale, 2009, Lundholm et al. 2017). Det at de høyeste verdiene av denne arten finnes på stasjonene med lavest salinitet viser at det finnes en relasjon mellom forekomsten av denne arten og saliniteten i overflatevannet (Zonneveld et al., 2013). De økte verdiene er åpenbart knyttet til ferskvannstilførsel fra elver.

5.3 Klimaperspektiv

Artssammensetningen i prøvene er typisk for den subarktiske biogeografiske sone og består av både varmekjære arter som *L. machaerophorum* (Lewis and Hallett, 1997; Zonneveld et al., 2013) og arter med toleranse for kjølige vannmasser, som for eksempel *Brigantedinium* spp., *I.? cezare* og *Polykrikos kofoidii* (Zonneveld et al., 2013). Sistnevnte er kun funnet i en prøve på Sunnmøre. *I.? cezare* har hyppigere forekomst i det nordlige undersøkelsesområdet, noe som sannsynligvis gjenspeiler dens preferanse for relativt lav vanntemperatur (Figur 9). Den avtagende andelen av den varmekjære fototrofe *L. machaerophorum* gjenspeiler sannsynligvis den synkende temperaturgradienten nordover (Figur 9, 18, 19). Dinoflagellaten som produserer denne dinocysten er klassifisert som en fototrofisk art. Den er kjent å oppholde seg ved grensen mellom vannmasser med ulik fysisk karakter. Dette betyr at den i tillegg til å være en viktig klimaindikator, er en indikator for stratifiserte vannmasser. Det at *L. machaerophorum* er hyppigere til stede og finnes i høyere andeler i Stavangerområdet enn på Sunnmøre, mens *I.? cezare* er mer hyppig på Sunnmøre enn i Stavangerområdet, reflekterer sannsynligvis temperaturgradienten i overflatevannet på tvers av breddegrad. Vi kan likevel ikke utelukke at den noe høyere forekomsten av *L. machaerophorum* i Stavanger skyldes den generelt lavere saliniteten i dette området (Zonneveld et al., 2013) (Figur 16, 17). Artene *L. machaerophorum* og *I.? cezare* synes å være blant de mest sensitive artene i datasettet når det gjelder endringer i temperaturen i overflatevannet. De har derfor høyest potensial som klimaindikatorer. Selv om klimasignalet er svakt, ser disse dinocystene ut til å reflektere temperaturgradienten antydning i de interpolerte overflatevanntemperaturene (<https://marinegrunntkart.avinet.no/>) (Figur 18, 19).

5.4 Videre arbeid

Denne undersøkelsen har kartlagt den geografiske fordelingen av marine palynomorfer i havbunnsedimentene i to områder på kysten i Sør-Norge. Dette gir et godt grunnlag for å fange opp fremtidige endringer i miljøet i overflatevannet, enten de er forårsaket av klima eller relatert til menneskeskapt miljøbelastning. I tillegg gir den et godt grunnlag for å studere variasjonene i overflatevannet tilbake i tid. Dette kan være interessant både for å kartlegge klimautvikling og endringer i miljøet som skyldes påvirkning fra industri, jordbruk eller annen antropogen aktivitet. Det er en stor fordel å undersøke et sett prøver innenfor et avgrenset område som er gjort her, i stedet for å undersøke spredte prøver langs kysten. Det kan være interessant å gjøre en lignende

undersøkelse i et område lengre nord, der det er utført færre undersøkelser i kystnære områder. En vil da kunne se hvordan de marine palynomorfene responderer på den synkende temperaturgradienten nordover.

6. KONKLUSJON

Marine palynomorfer, hovedsakelig dinocyster, har blitt kartlagt i havbunnsedimenter i to kystnære områder, ett i Ålesund og Giske kommune på Sunnmøre, og ett i Stavangerområdet. Havbunnsprøver er hentet fra 10 stasjoner i hvert område.

Til sammen 21 ulike typer dinocyster er registrert. Artssammensetningen i prøvene er stort sett den samme. Selv om prøvene kan være artsrike er det som regel et fåtall arter (cyster av *Protoceratium reticulatum*, *Brigantedinium* spp. og *Selenopemphix quanta*) som dominerer. Andelen av de ulike artene varierer i forhold til det spesifikke miljøet i overflatevannet på de ulike lokalitetene.

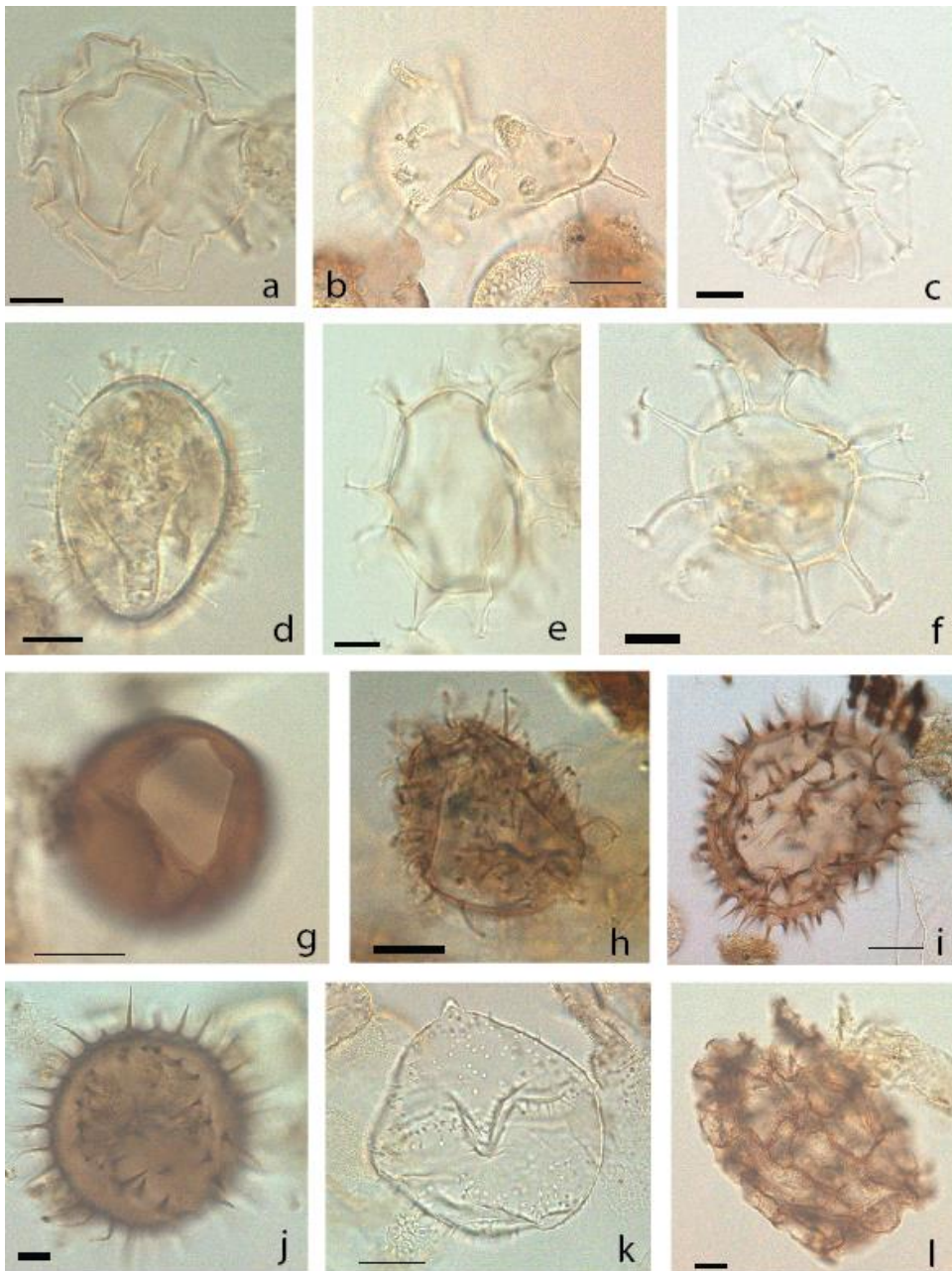
Cyster av *P. reticulatum* utgjør som regel den største prosentandelen i prøvene. Det viser at det er god utveksling mellom vannet nær kysten og det i mer åpne områder på de fleste undersøkte lokalitetene. Stasjonene på Sunnmøre er generelt mer eksponert mot åpent hav enn de i Stavanger, noe som gjenspeiles i den generelt høyere andelen av cyster av *P. reticulatum*. Områder med noe redusert andel av cyster av *P. reticulatum* er stasjon 9 Ytre Gandsfjorden, 10 Hidlefjorden, og 4 NV for Finnøy i Stavanger, og stasjon 2 Valderhaugfjorden, 6 Synesvikane og 10 Vigráfjorden, N for Roald på Sunnmøre. Variasjonen i andelen cyster av *P. reticulatum* i de undersøkte områdene stemmer stort sett godt overens med de interpolerte variasjonene i intensiteten til overflatevannstrømmen. Dette bekrefter artens potensial til å kunne påvise innflytelse av vannmasser fra mer åpne havområder.

Også endringer i overflatevannsaliniteten er reflektert i dinocystesammensetningen. For eksempel har stasjonene i Stavanger, som er mest influert av ferskvannsutstrømning, høyest andel av cyster av *Pentapharsodinium dalei*.

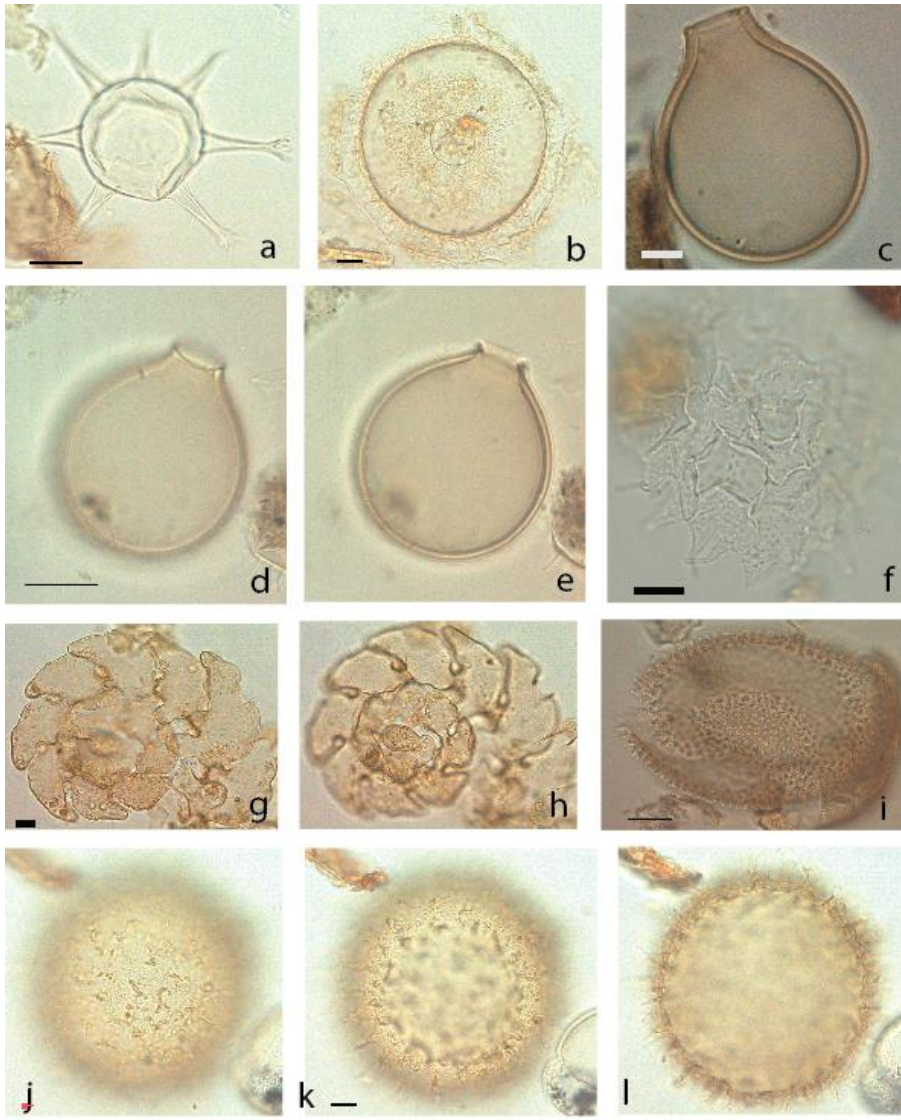
Artssammensetningen i prøvene er typisk for den subarktiske biogeografiske sone og består av både varmekjære arter som *L. machaerophorum* og arter med toleranse for kjølige vannmasser, som for eksempel *Brigantedinium* spp. og *Islandinium? cezare*. *L. machaerophorum* og *I.? cezare* synes å være blant de mest sensitive artene når det gjelder endringer i temperaturen i overflatevannet. De har derfor høyest potensial som klimaindikatorer. Til tross for at de to områdene ikke spenner over særlig mange breddegrader, reflekterer disse dinocystene endringer i temperaturen i overflatevannet på tvers av breddegrad. Den lavere andelen av *L. machaerophorum* i prøvene på Sunnmøre i forhold til de i Stavangerområdet, gjenspeiler den synkende temperaturgradienten i overflatevannet nordover. *I.? cezare* forekommer hyppigst i det nordlige undersøkelsesområdet, noe som sannsynligvis gjenspeiler dens preferanse for lave temperatur i overflatevannet.

Stasjoner med de høyeste andelen av heterotrofe arter (>50%) er 9 Ytre Gandsfjorden, 10 Hidlefjorden og 4 NV for Finnøy i Stavanger, og stasjonene 10 Vigráfjorden N for Roald, 6 Synesvikane, 4 NV for Sjongfluda og 2 Valderhaugfjorden på Sunnmøre. Disse områdene

ligger stort sett i mer beskyttede områder hvor sirkulasjonen i overflatevannet er litt nedsatt i forhold til de andre lokalitetene. Med få unntak er det en relasjon mellom høyt innhold av totalt organisk karbon (TOC) og høy andel heterotrofe arter. Dette kan være knyttet til antropogen aktivitet uten at dette kan sies med sikkerhet. Dette gjelder særlig stasjon 9 i ytre Gandsfjord og stasjon 10 Hidlefjorden i Stavanger.



Figur 20. Mikrofotografier av utvalgte dinocyster. a-f) fototrofe dinocyster: a) *Ataxodinium choane*, b) *Lingulodinium machaerophorum*, c) *Nematosphaeropsis labyrinthus*, d) cyster av *Protoceratium reticulatum*, e) *Spiniferites elongatus*, f) *Spiniferites ramosus*. g-l) heterotrofe dinocyster: g) *Brigantedinium simplex*, h) *Islandinium? cezare*, i, j) *Selenopemphix quanta*, k) *Trinovantedinium applanatum*, k) *Polykrikos kofoidii*. Målestav: 10 mikrometer (μm), unntatt b, g og k som er $20\mu\text{m}$.



Figur 21. Mikrofotografier av vanlige marine palynomorfer. a-e: ciliater, a: *Hexasterias problematica*, b) *Halodinium* sp., c-e: Tintinider, f: alge, *Pediatrum* sp., g, h: organiske hinner i foraminiferskall "foraminiferal lining" som viser avtrykk av foraminiferkamrene, i: copepod-egg, j-l: ukjent palynomorf, antagelig egg av en organisme, muligens krepsdyr (*Crustacea*). Målestav: 10 mikrometer (μm), unntatt d, f og i som er 20 μm .

REFERANSER

Dale, B. 2009. Eutrophication signals in the sedimentary record of dinoflagellate cysts in coastal waters. *Journal of Sea Research* 61:103–113.

doi:[10.1016/j.seares.2008.06.007](https://doi.org/10.1016/j.seares.2008.06.007)

Grøsfjeld, K. & Harland, R. 2001. Distribution of modern dinoflagellate cysts from inshore areas along the coast of southern Norway. *Journal of Quaternary Science* 16 (7), 651-659.

DOI: 10.1002/jqs.653

Knies, J., Boitsov, S., Baeten, N.J., Elvenes, S., Bøe, R. 2021a: Sedimentasjonsmiljø og historisk utvikling i forurensningsstatus i sjøområdene i kommunene Ålesund og Giske. NGU rapport 2021.018, 67 pp.

https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2021/2021_018.pdf

Knies, J., Elvenes, S., Bøe, R. 2021b: Sedimentasjonsmiljø og historisk utvikling i forurensningsstatus i sjøområdene i Stavanger kommune NGU rapport 2021.003, 47 pp.

https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2021/2021_003.pdf

Lewis, J. and Hallett, R. 1997: *Lingulodinium polyedrum* (*Gonyaulax polyedra*) a blooming dinoflagellate. In: Ansell, A.D., Gibson, R.N., Barnes, M. (Eds.), *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 35. University College London Press, London, pp. 97–161.

Lundholm, N., Ribeiro, S., Godhe, A., Rostgaard Nielsen, L. and Marianne Ellegaard, M., 2017. Exploring the impact of multidecadal environmental changes on the population genetic structure of a marine primary producer. *Ecology and Evolution* 7: 3132–3142.

DOI: 10.1002/ece3.2906

Zonneveld, K.A.F., Marret, F., Versteegh, G.J.M., Bogus, K., Bonnet, S., Bouimetarhan, I., Crouch, E., de Vernal, A., Elshanawany, R., Edwards, L., Esper, O., Forke, S., Grøsfjeld, K., Henry, M., Holzwarth, U., Kieft, J.-F., Kim, S.-Y., Ladouceur, S., Ledu, D., Chen, L., Limoges, A., Londeix, L., Lu, S.-H., Mahmoud, M.S., Marino, G., Matsuoka, K., Matthiessen, J., Mildenthal, D.C., Mudie, P., Neil, H.L., Pospelova, V., Qi, Y., Radi, T., Richerol, T., Rochon, A., Sangiorgi, F., Solignac, S., Turon, J.-L., Verleye, T., Wang, Y., Wang, Z., Young, M., 2013. Atlas of modern dinoflagellate cyst distribution based on 2435 datapoints. *Review of Palaeobotany and Palynology* 191, 1–197.

<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2012.08.003>



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
· NGU ·

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no