

NRAS-notat 2018-04-20
(oppdatert 20.05.2019)



Feltnotat - sampling av sil innenfor og utenfor Leirpollen, Tanafjorden

Data fra seks tokt mars-juni 2017 og tre vintertokt 2018

Skrevet av: Odin Kirkemoen, Jonathan E. Colman, Thrond O. Haugen og Thomas Ruud

Bakgrunn

Dette dokumentet beskriver resultater fra ni samplingsrunder for å undersøke tilstedeværelse, habitatbruk og biologiske variabler samt bestandsvariabler for sil i innseilingen til Leirpollen og deltaområdet til Tanaelva. Samplingen er bestilt som et underlag til KU-prosjektet «Innseiling Leirpollen – Tana – nye utredninger» i samarbeid med Multiconsult, på oppdrag for Kystverket Troms & Finnmark. Tiltaket består av å mudre innseilingsleia til Leirpollen dypere for en sikrere ferd gjennom den sterke tidevannsstrømmen.

Målet med undersøkelsene var å avdekke hvor silen oppholder seg, og hvor den ikke oppholder seg, for så å knytte bl.a. bunnforhold opp mot habitatvalg. Vi var også interessert i biologiske data om hvilke arter av sil som bruker området, bestandsestimater, gytetid og mer. Fokus var på beslutningsrelevant kunnskap som bidrar til konsekvensutredningen og prosjekteringen av mudringstiltaket. For å samle sil var den mest effektive og minst forstyrrende metoden å samle de inn når de ligger nedgravd i bunnsubstratet. Dette gjøres best ved bruk av en grabb som senkes ned på havbunnen og graver med seg sedimenter og organismer som lever der (Greenstreet m.fl. 2006, Johnsen & Harbitz 2013).

Om sil

Sil, som også kalles tobis, er artene innen silfamilien (*Ammodytidae*). Havsil (*Ammodytes marinus*) er den vanligste og mest tallrike arten i norske farvann. Det er svært vanskelig å skille artene fra hverandre rent morfologisk, og spesielt vanskelig er det å skille mellom havsil og småsil (*Ammodytes tobianus*). Andre arter i familien er storsil (*Hyperoplus lanceolatus*), glattsil (*Gymnammodytes semisquamatus*) og uflekket storsil (*Hyperoplus immaculatus*). Basert på genetiske undersøkelser av våre prøver samlet under Tokt 3, er silarten som dominerte vårt studieområde definert som havsil (Præbel m.fl. 2019) med innslag av småsil og storsil (Bakketeig m.fl. 2017).

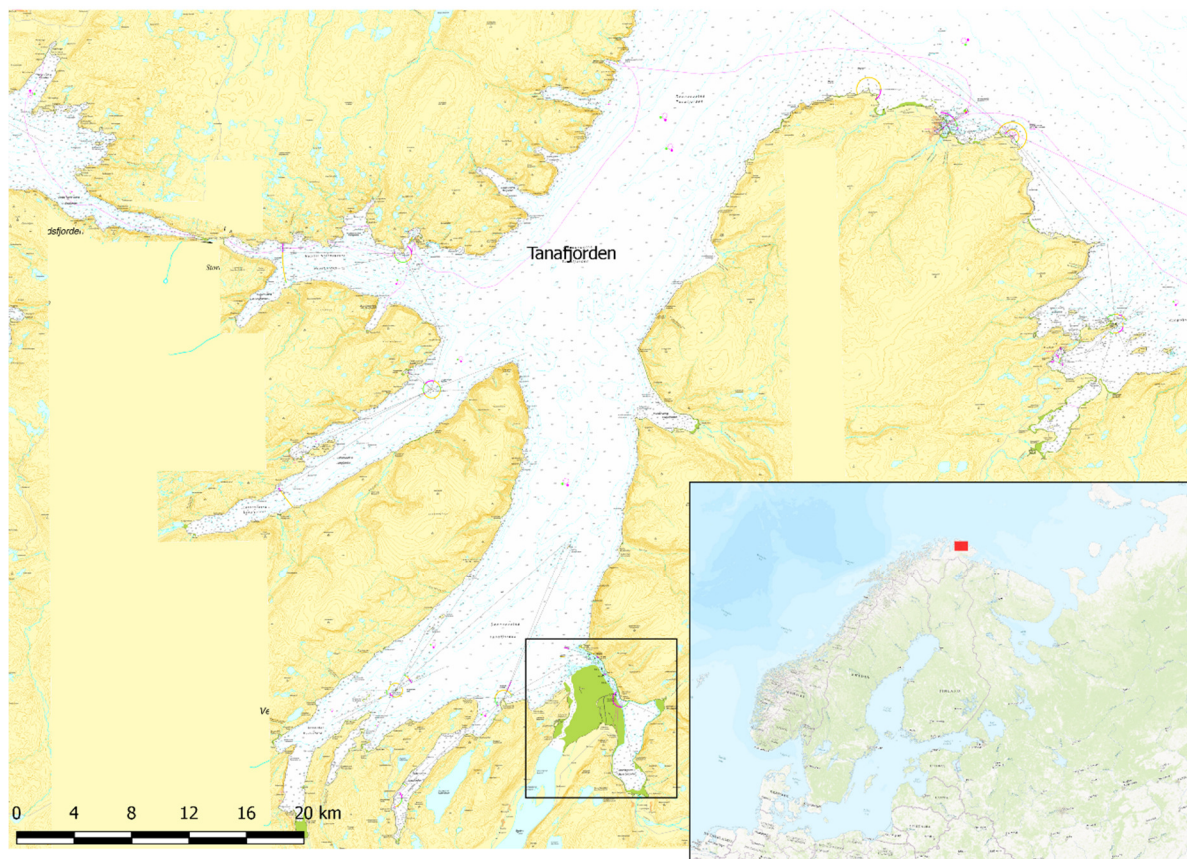
Sil er sterkt knyttet til sandbunn, og bruker denne både som gjemmested om natten og delvis som gytehabitat (rognen fester seg til sandkorn – se mer om dette nedenfor). Under de lyse timene og mest i perioden mellom midten av juni til ut september, samles fisken i store stimer for å jakte på dyreplankton (raudåte *Calanus finmarchicus* er en favoritt), mindre fisk og annen pelagisk føde. Silens manglende svømmeblære gjør at den er vanskelig å kartlegge ved bruk av ekkolodd. I perioden fra midten av september til midten av juni er silen mest i sanden, men kommer opp for å gyte midtvinters. Det siste toktet, Tokt 9, bekreftet den lokale kunnskapen om at silen gyter i slutten av november og desember utenfor Tana (se resultatseksjonen nedenfor; pers. med. Jon Inge Guttorm, lokal fisker og skipper under Tokt 7, 8 og 9). Fra våre tokt ser vi faktisk at enkelte sil har mat i magen også om vinteren. Dette har vi ingen sikker forklaring på, men diskuterer saken videre i resultat- og diskusjonsseksjonene nedenfor.

Sil fungerer som en nøkkelart i havet, da de inngår som viktig føde for svært mange arter av fisk som laks (*Salmo salar*) og sjøørret (*Salmo trutta*), sjøpattedyr og fugler som rødlistarten (VU) lunde (*Fratercula arctica*). Sil fungerer som et viktig bindeledd mellom plankton og de høyere trofiske nivåene og er et svært næringsrikt fødevalg på grunn av det høye fettinnholdet. I Tanamunningen er det store mengder laksender (*Mergus merganser*) som livnærer seg på sil. Hvis silbestanden i området går drastisk ned, vurderes dette til å kunne påvirke den totale lakseproduksjonen i Tanaelva da laksene forventes å gå over til å spise laksesmolt i stedet for sil som hovedføde under vår- og forsommerperioden (Svenning m.fl. 2005). Tobis fiskes også kommersielt og brukes som råstoff til blant annet fiskemel og oljeanvendelse.

Vanskeligheten med å skille de forskjellige artene fra hverandre morfologisk har gjort at genetik er et nødvendig verktøy for å finne ut om dette er en eller flere lokalt tilpassede bestander av småsil eller havsil, eller en del av en større havsilbestand som bruker området utenfor Leirpollen som gyteområde. Ved å samle inn genetisk materiale har vi muligheten til å bidra med et solid kunnskapsgrunnlag til artsforståelsen av silfamilien (*Ammodytidae*). Ved hjelp av Kim Præbel og hans team ved Fiskerihøgskolen ved UIT- Norges Arktiske Universitet, har vi nå samlet inn sil-DNA fra Tanafjorden og sammenlignet disse med flere andre populasjoner i Norge. Det ble også sendt individer til en ekspert i morfologisk artsbestemmelse av sil (Prof. Peter R. Møller, Københavns Zoologiske museum, Danmark). Sil gyter midtvinters og legger egg i sanden, som klistrer seg til ett eller flere sandkorn. På seinvinter/vår klekker eggene og livsstadiet som pelagisk larve starter for silen. Når silen oppnår ca 4-5 cm lengde avsluttes den planktoniske fasen, og silen vil resten av livet være avhengig av sand som skjul, overvintring og gytehabitat. Silen vokser raskt tidlig i livet, og kun tre måneder etter klekking kan silen ha oppnådd en lengde på 5-10 cm (se resultatene nedenfor).

Studieområdet

Studieområdet for denne undersøkelsen ligger ved utløpet av Tanaelva, hovedsakelig i skipsleia mellom Tanafjorden og Leirpollen (70.53N, 28.40E), innerst i Tanafjorden i Finnmark fylke (Figur 1). Dette ligger ved den nordlige yttergrensen til den tempererte klimasonen.

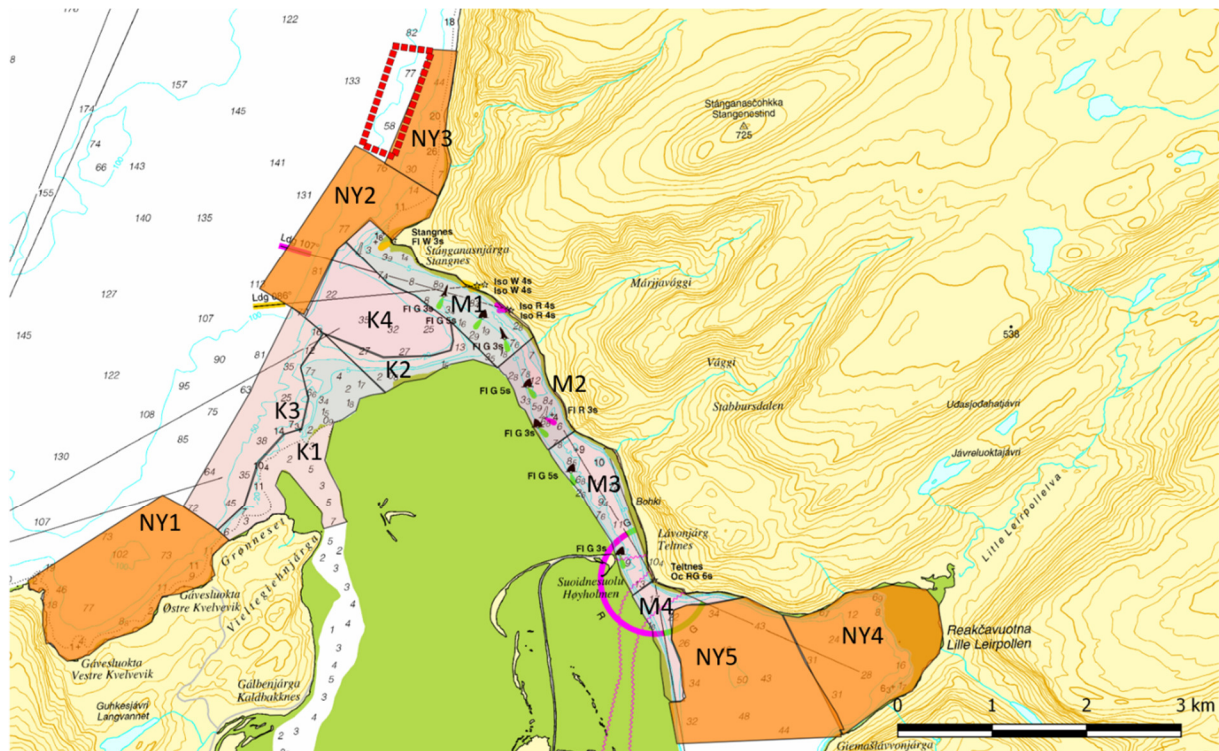


Figur 1. Oversiktskart (sjøkart) over Tanafjorden med tiltaksområdet/influensområdet. Det minste svarte rektangelet henviser til neste kart (Figur 2) og hoveddelen av studieområdet. Kartgrunnlag: Kartverket 2019 (WMS).

Sil ble samlet i Leirpollen og utenfor Tanaelva under seks tokt vinter/vår/sommer 2017, fra (mars til juni), og tre vintertokt i januar, mars og november 2018 (se Tabell 1 for detaljer). Inndeling av undersøkelsesområdet i soner og kontrollsoner ble planlagt og gjennomført som følge av et allerede bestemt mudringsområde og foreslått deponiområde til prosjektet. Fire soner ble planlagt i tiltakets influensområde (M1, M2, M3 og M4; Figur 2 og 3) og fire i kontrollområdet (K1, K2, K3 og K4; Figur 2 og 3) som ble betraktet som utenfor influensområdet til mudringsarbeidet. Kontrollområdet lignet på mudringsområdet på dybde og ved at det også lå nært Tanaelvas utløp. Det ble derfor gått ut fra at bunnforholdene var relativt like. I tillegg til disse forhåndsbestemte stasjonene ble noen få tilfeldige stasjoner også samlet inne i Leirpollen. I 2018 ble fem nye soner også lagt til i studieområdet etter oppdragsgivers ønske (NY1, NY2, NY3, NY4 og NY5; Figur 2 og 3).

Tabell 1: Detaljer rundt de ni toktene, inkludert dato, klokkeslett og værforhold.

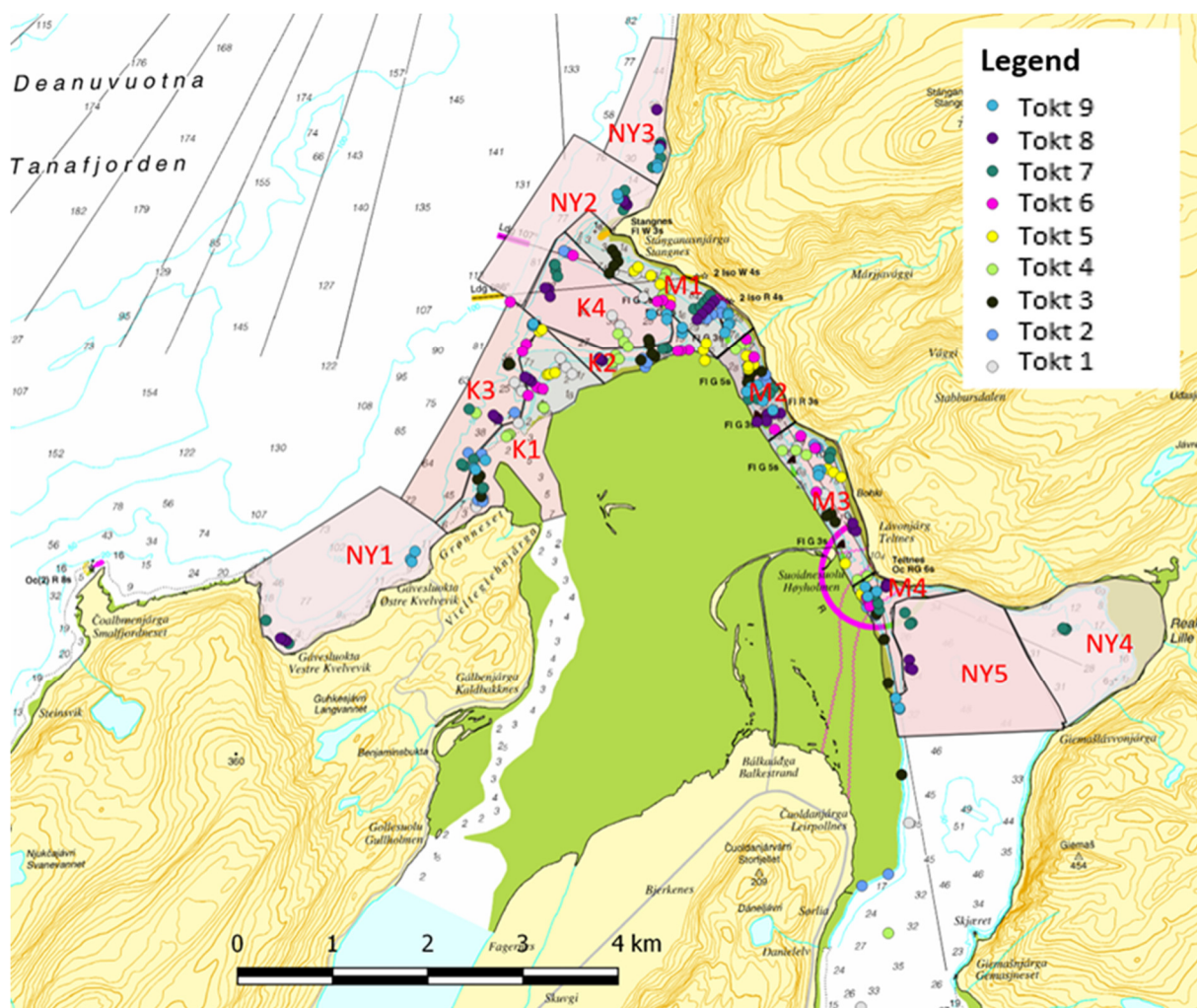
Tokt	Dato	Klokkeslett start	Værforhold
1	6. mars 2017	05.00	Overskyet, -3 °C. 5 m/s nordvestlig.
2	5. april 2017	05.00	Lett snø, -1°C. Vindstille.
3	27. april 2017	06.00	Sol, 0 °C. Vindstille.
4	31. mai 2017	06.00	Sol, 4°C. 2m/s nordvestlig.
5	13. juni 2017	23.00	Overskyet, nordvestlig 3-7 m/s. 7°C.
6	30. juni 2017	10.30	Sol, 4 m/s østlig. 9°C.
7	10.-11. januar 2018	09.00	Vindstille, -3° C.
8	15.-16. mars 2018 (strandsonetokt 13.-14. mars)	09.00	3m/s østlig. -5 °C. (strandsonetokt -12 til -20, mellom 5 og 15 m/s).
9	28. November 2018	10:00	3m/s østlig. -4°C.



Figur 2. Området hvor feltarbeidet er utført med totalt 13 forskjellige soner hvor det er utført grabbskudd. Muddersonene M1-M4, kontrollsonene K1-K4 og nye soner NY1-NY5 (lagt til i 2018 etter ønske fra oppdragsgiver). Skissert deponisone i ytterkant av stasjon NY2 og NY3, markert med rød stiple linje. Grønne områder er sanddyner i tidevannssonen som kan være over eller under vann varierende fra år til år, og mellom årstider. Kilde kartgrunnlag: Kartverket 2019 (WMS).

Metodikk

I samarbeid med to lokale skipper, ble deres 26 og 30 fots sjarker brukt til feltarbeidet. I 2017 benyttet vi oss av en båt som hadde basisbrygge ved Austertana, innerst i Leirpollen, og i 2018 hadde vi basisbrygge i Torhop, Vestertana. Grabben ble spent opp i åpen stilling og sluppet kontrollert ned på bunnen. En teinehaler/kraftblokk ble brukt til å vinsje grabben opp til overflaten før den ble koblet over på en bom med vinsj eller en kran som løftet den over ripa på båten. Det ble benyttet en Van Veen grabb (0,1 m²; Figur 4) til grabbskuddene. Dette er en grabbtype som tidligere har blitt brukt i Nordsjøen til lignende studier. Grabben biter 8-12 cm ned i sedimentene, noe som trolig er nok for å gi et godt minimumsestimat av silbestanden. Dette kommer av at sedimentene inneholder mindre oksygen dypere enn 8 cm (Lohse m.fl. 1996), noe som gjør de dypere sedimentene utenfor grabbens rekkevidde er lite egnet for sil (Girsa og Danilov 1976).



Figur 3. Oversiktskart over alle grabbskudd gjort under Tokt 1-9 i de 13 forskjellige sonene, plus noen ekstra grabbskudd i Leirpollen. Grabbskuddene for de forskjellige toktene er markert med forskjellige farger, se tegnforklaring. Kilde kartgrunnlag: Kartverket 2019 (WMS).

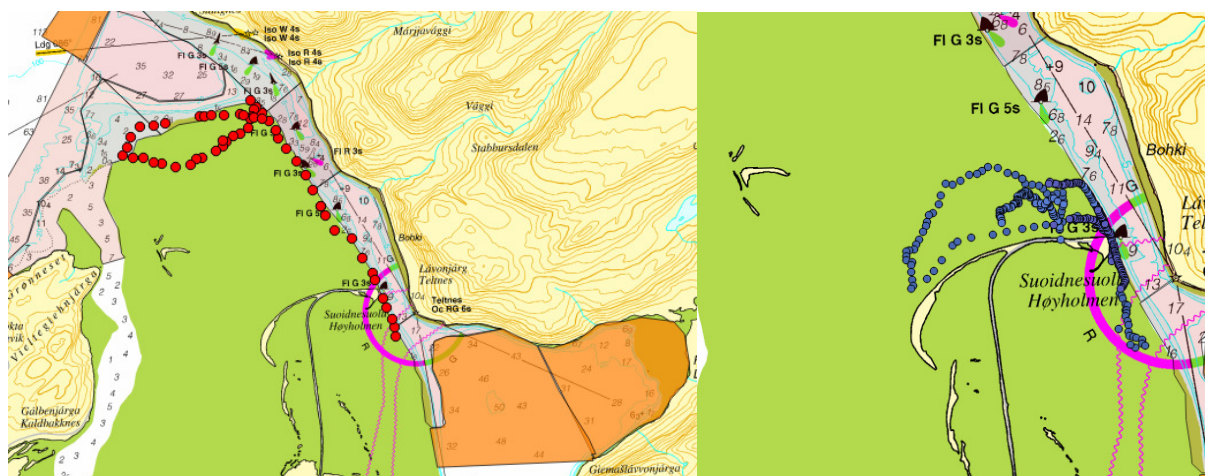


Figur 4. Van Veen-grabben som brukt under feltarbeidet og sampling av sil i Leirpollen og utenfor Tanaelva. Bildet til høyre viser sil som henger ut av grabben etter et vellykket grabbskudd i silhabitat på havbunnen. Foto: Ole Tobias Rannestad.

Det ble over to år og ni forskjellige tokt totalt foretatt 338 grabbskudd i denne studien (stor og liten grabb; Figur 3). I hver sone ble det gjennomført tre grabbskudd. Unntak var sonene M1 og M2, hvor det ble utført fem grabbskudd under alle tokt bortsett fra Tokt 1 og 6. Grunnen til at det ble økt til fem grabbskudd i disse to sonene, var at det er i disse sonene det hovedsakelig er planlagt å mudre. Vi ønsket derfor et best mulig kunnskapsgrunnlag i disse sonene. Dette vil ikke øke estimatet, men styrke dets nøyaktighet. Grunnet tekniske problemer med utstyr og vanskelige værforhold ble visse stasjoner droppet. Dette inkluderte oppflising/tvinning/utskifting av grabbwire og for stor vannføring utenfor Tanaelva kombinert med for stor helling på bunnen hvor prøvene skulle tas (sone K4 og K3). Det opplyses om at dybdene på sjøkartet er veldig utdaterte og kan skille over 10 meter på grunn av stor massetransport fra Tanaelva (pers. komm. Skipper Øystein Breivik samt egne erfaringer i felt). Deltaets form endres derfor betydelig fra år til år. Av sikkerhetsmessige grunner ble det ikke tatt grabbskudd grunnere enn tre meter med sjark.

I sammenheng med Tokt 8 ble det utført et «strandsonetokt» der vi fokuserte på de områdene som av sikkerhetsmessige grunner ikke var dekket fra sjark med stor grabb. På grunn av vekten av den store grabben, måtte vi benytte oss av en manuell grabb fra 15-fots båt. Det ble tatt 54 grabbskudd med liten grabb (Figur 4). I tillegg gikk tre mann med spader over området rundt Høiholmen på fjære sjø og spadde etter sil i sanden. Selv om det var egnet silhabitat basert på kornstørrelse, ble det ikke funnet noen sil på ca. 350 spadetak (ned til 30 cm dyp; Figur 5).

Ved vanskelige bunnsstrat som store steiner og berg, eller der hvor bunnen hadde stor helningsgrad, var det svært vanskelig å få opp gode sedimentprøver. Slike forhold fantes i noen områder på nordsiden av mudringsrenna og i kontrollsonene, i marbakken.



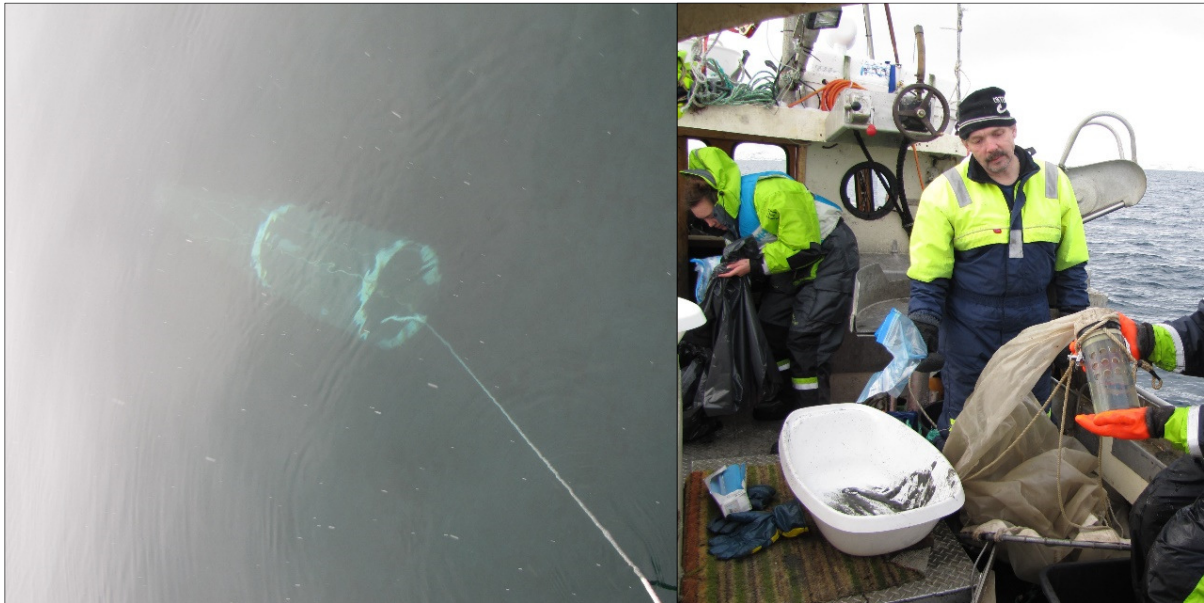
Figur 5. Kartet til venstre viser hvor 54 grabbskudd med liten grabb fra båt ble utført 14. mars 2018. Disse grabbskuddene ble foretatt mellom fjærnesonen og ned til 5 m dyp. Kartet til høyre viser ca. 350 spadetak i den tilgjengelige fjærnesonen rundt høyholmen. Kilde kartgrunnlag: Kartverket 2019 (WMS).

Alle sonene ble samlet i løpet av én og samme dag på hvert enkelt av de seks første toktene. Tokt 7, 8 og 9 hadde et større område å sample fra, og ble delt opp i to feltdager. Alle sonene ble forsøkt delt inn i områder grunnere og dypere enn 10 m. Grunnet bølger, strøm, steinbunn (100% mislykkede grabbskudd der det var stor grov grus/stein/berg), usikker dybde og bratte undervannskanter var det vanskelig å få til dette i felt. Grunnet store avvik fra sjøkartdybdene ble det vanskelig å følge oppsatt plan for dybder på grabbskuddene. Alle grabbskudd ble kartfestet med GPS, sammen med dybdemålinger med ekkolodd og grabbens fyllingsgrad. Andre variabler som ble notert var en beskrivelse av sedimentene (generelt inntrykk, lukt, kornstørrelse, osv.), vær og vind.

Under Tokt 3 ble feltarbeidet noe forlenget på grunn av innsamling av DNA fra hver enkelt fisk. En bit finne-/muskelvev fra hver sil ble skåret av og plassert i ferdig merkede Eppendorfrør med 96% sprit. Se separat rapport for innsamling av sil-DNA fra referanseelver i Norge (Gregersen og Kirkemoen 2017).

Det ble gjennomført horisontale håvtrekk med en planktonhåv i forsøk på å sample de pelagiske sillarvene (Figur 6). Det ble utført to håvtrekk per tokt, ett trekk i en M-sone og ett trekk i en kontrollsoner. Håvtrekkene ble utført på forskjellig dyp, men så nært bunnen som mulig. Håvtrekkene ble trukket ca. 50 meter etter sjarken før den ble ført ombord.

Når grabben med sedimenter kom om bord i båten ble innholdet i grabben tømt i et stort plastkar. Silen ble manuelt sortert ut av sedimentene ved hjelp av en sikt/dørslag (Figur 7). En slange med sjøvann spylte sedimentene ut av plastkaret og ned i dørslaget. Sil og sedimentprøver fra hvert enkelt grabbskudd ble tatt vare på i separate lynlåsposer for senere analyser i lab. Sedimentprøver fra hvert grabbskudd ble tatt vare på for å fastslå kornstørrelse og evaluere dette opp mot silens habitatpreferanser. Sedimentprøvene ble også undersøkt for silrogn.



Figur 6. Horisontale håvtrekk med planktonhåv. Sillarver på sitt tidligste stadium er kun noen få millimeter lange, og svært tynne. Planktonhåv er eneste sikre måten å få samlet disse uten at de går gjennom maskene. Oppsamlingsglasset vises i det høyre bildet. Foto: Ole Tobias Rannestad.

Alle prøver (fisk, sedimenter og håvprøver) ble pakket og merket i felt, og frosset ned innen fem timer etter at toktet var ferdig (ikke tidligere pga. transport) og bevart i nedfrosset tilstand fram til videre analyser. Det var stort sett lave temperaturer under toktene, og ofte minusgrader under feltarbeidet, noe som gjorde at fisken holdt seg godt. Dette gjorde at prøvene holdt seg godt. Nedfrysning ble valgt fremfor oppbevaring på etanol eller lignende da førstnevnte holder på fargen bedre, og det var ønskelig å bevare fiskens naturlige farger til disseksjon.

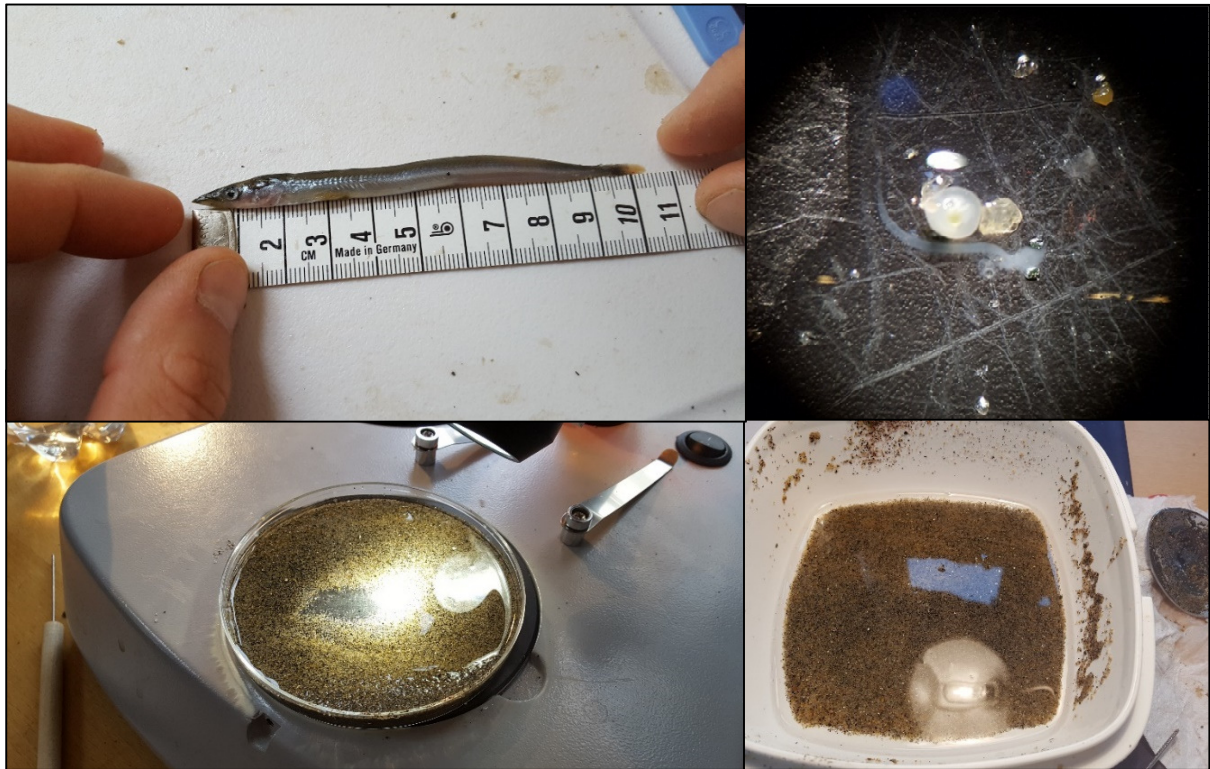
Analysen av materiale ble foretatt på NRAS sine lokaler i Oslo og på MINA, NMBU. Første runde ble foretatt i uke 19 i 2017 og ble gjort av hovedsakelig Tokt 1 og 2. Andre runde ble foretatt i uke 31 og 32 (Tokt 4-6). En ny runde med analyser ble foretatt i desember 2017 og januar 2018 hvor all fisk fra Tokt 1-6 ble analysert alder og modningsstadium i tillegg. Ca. 60 individer av Tokt 7 ble også analysert med samme metode. Fisk fra Tokt 8 og resten av fiskene fra Tokt 7 ble analysert i januar 2019 sammen med all fisk fra Tokt 9. Silen vi har samlet i dette prosjektet ble artsbestemt gjennom genetiske analyser hos UiT ved Kim Præbel. Vi viser til Præbel m.fl. (2019) for resultatene fra disse undersøkelsene.



Figur 7. Sampling av sil og sedimentprøve i felt. Øverst til venstre: sand spyles med en vannslange gjennom en sikt for å skille sil og sedimenter. Øverst til høyre: Sil og sedimentprøver puttes i hver sine lynlåsposer merket med #grabbskudd og sone for senere analyser. Eksakt posisjon på grabbskudd ble notert. Bilde nederst til venstre: sil med sin karakteristiske utskytbare munn. Nederst til høyre: Sil i forskjellige størrelser. Foto: Ole Tobias Rannestad.

De første analysene i lab (Tokt 1-2 og 4-6) bestod av å lengdemåle (til nærmeste millimeter) og veie alle fiskene (Figur 8). Én til to sil per grabbprøve ble sjekket for mageinnhold og modningsgrad/stadium ved hjelp av «Tabell 5. Generell modningsbeskrivelse» i *Havforskningsinstituttets håndbok for prøvetaking av fisk og krepsdyr* (Mjanger m.fl. 2017). Mageinnholdet og kjønnsstadium ble undersøkt ved hjelp av Leica stereolupe og en XTL-2400 stereolupe med 7-45 ganger trinnløs forstørrelse. Noen individer manglet f.eks. hode og/eller hale eller manglet innvoller på grunn av måten grabben fanget fisken.

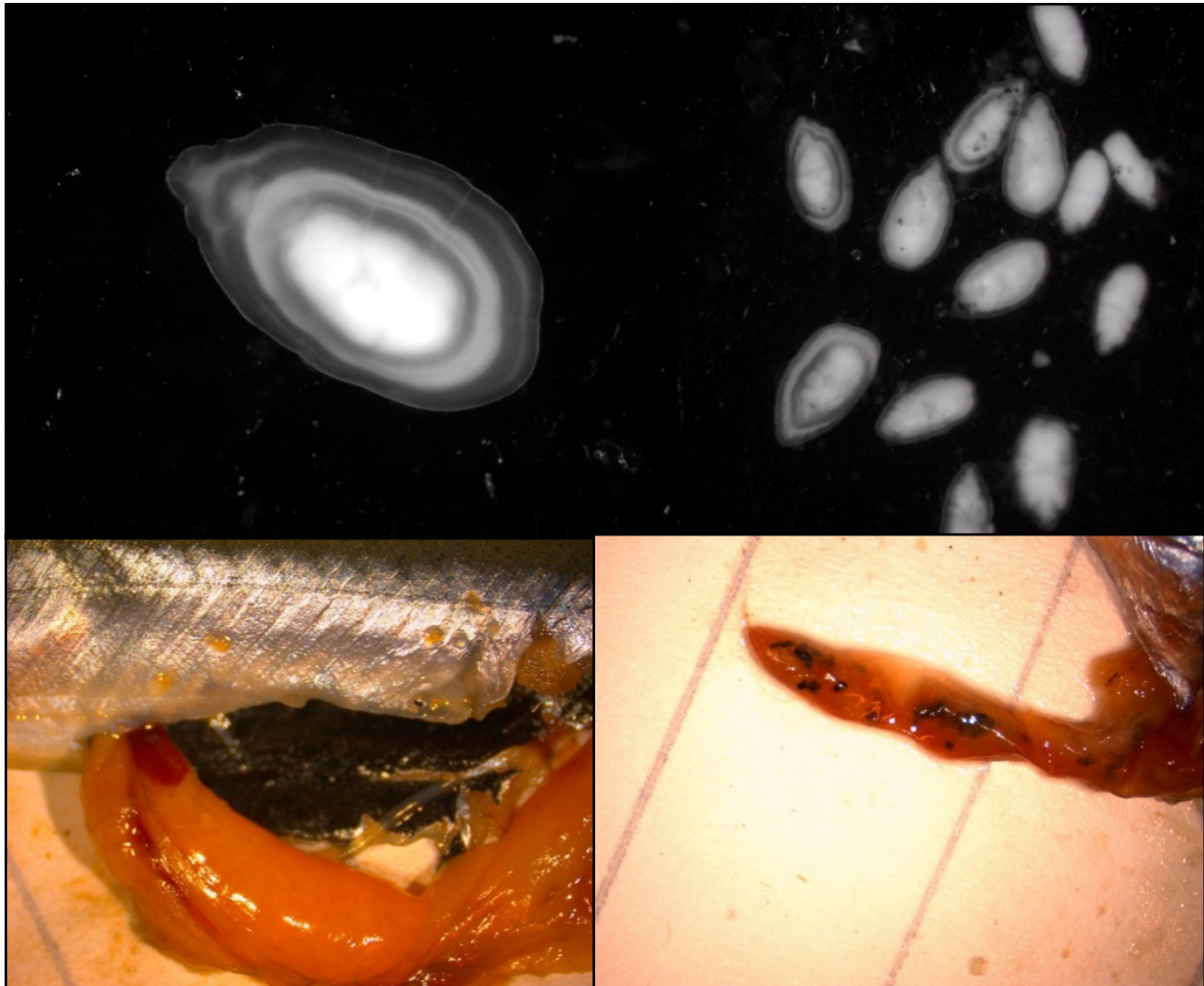
En subsample (50 ml) av hver sedimentprøve ble analysert grundig ved hjelp av samme stereolupe som nevnt over, med overlys i en petriskål. Antall silegg per sedimentprøve ble notert. Silegg (0,8-1,0 mm i diameter) gjenkjennes ved at eggene har festet seg til sandkorn (Figur 8). Eggene ble også åpnet for å undersøke hvordan larvene så ut for sammenligning med sillarver i håvprøvene. Substratstørrelsen i denne rapporten er oppgitt etter Wentworth-skalaen.



Figur 8. Laboratorieanalyser av sil og sedimentprøver. Lengdemåling og veiing av sil. Gjennomgang av sedimentprøver for silegg og kornstørrelse/sammensetning. Bilde øverst til høyre viser et silegg (festet til flere sandkorn) og sillarven som ble operert ut av dette egget. Foto: Odin Kirkemoen.

Under en ny runde undersøkelser på lab i desember 2017 og januar 2019 ble fiskene aldersbestemt med lesing av otolitt (ørestein) (

Figur 9). Alle fiskene ble undersøkt på nytt for modningsgrad (tilværelse eller ikke tilværelse av gonader), mageinnhold og lengde. Sammen med aldersstruktur, har vi nå muligheten til å vurdere flere biologiske og økologiske variabler for sil utenfor i og rundt Tanadeltaet (se resultatene og diskusjonen). Sil begynner utviklingen av gonader på høsten, fram til gyting midtvinters (november/desember). Det er derfor svært vanskelig å se gonader/kjønn på yngre individer, og på eldre individer etter at fisken har gytt og fram til høsten.



Figur 9. Laboratorieanalyser av otolitter (over). Otolitten til venstre er et eldre individ, fanget under Tokt 3, som da var i slutten av sin tredje vinter (vintersone = gjennomsiktig/mørk sone). Dette individet er altså i praksis en treåring (hvis vi regner klekking rundt april). De opake sonene er vekstsoner/sommersoner. Til høyre ser vi et utvalg av otolitter fra sil i forskjellige aldre. De minste otolittene er fra sil som opplever sin første sommer (0+). Bildet under til venstre viser en sil som er proppfull av raudåte (fanget på sommeren). Bildet til høyre viser en fisk fra Tokt 7 som har sandkorn i magesekken, men som ellers har nesten tom magesekk. Foto: Odin Kirkemoen

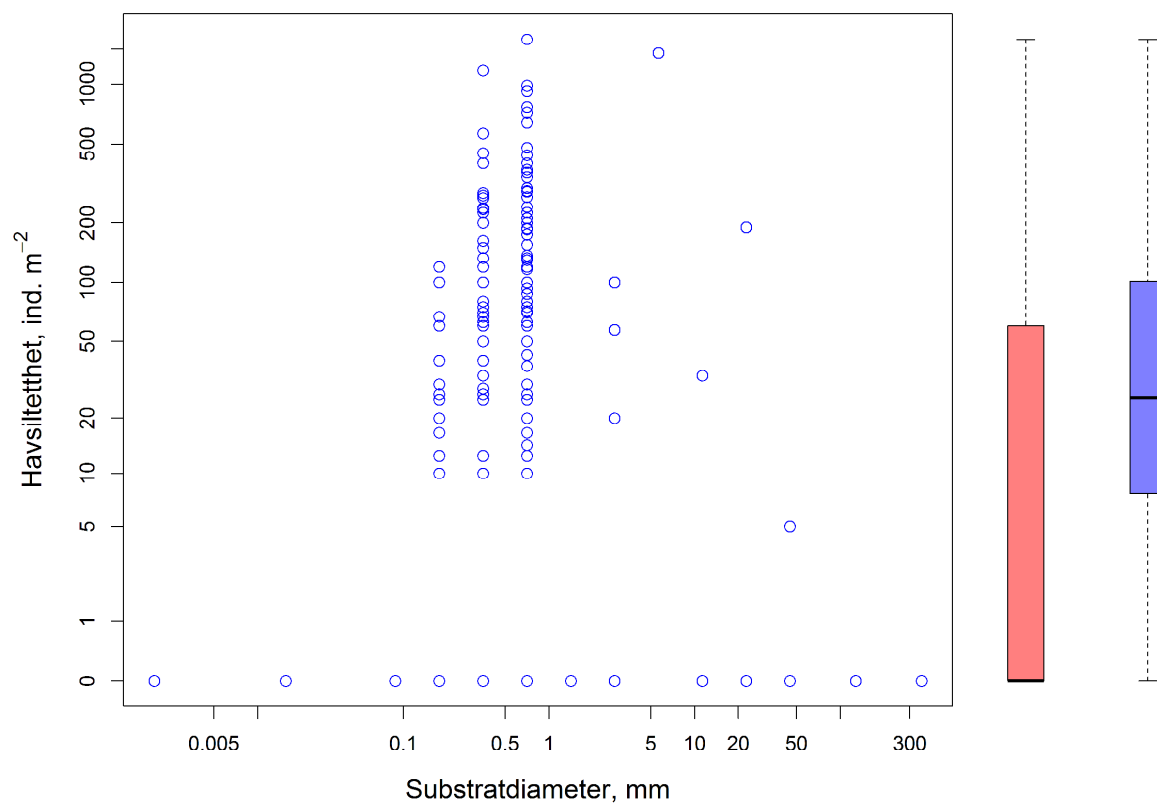
Analyse av sildata og populasjonsestimering

For å estimere tetthet av havsil (D) basert på enkeltgrabbfangster (C_i) ble følgende formel brukt:

$$D_i = \left(\frac{C_i}{F_i} \right) / A_G$$

der i er grabbskuddidentitet, F er fyllingsgrad av grabben og A_G er arealet til grabbtype G (dvs liten eller stor grabb).

Fordelinga av havsiltettheten viste tydelige tegn på overskudd av 0-observasjoner (lyserødt boksplott i



Figur 10) sett i forhold til den forventede Poisson-fordeling som karakteriserer antall-data. Ved å sammenligne fordelinga med den en får når 0-observasjonene tas ut (blå boksplott) ser vi at fordelinga er normalfordelt på ln-skala. Dette indikerer at dataene har et overskudd av 0-observasjoner (0-inflasjon). Vi bestemte oss derfor for å analysere havsiltetthetene ved hjelp av såkalte zero-inflated Poisson modeller (ZIP) der sannsynlighet for å få 0-observasjon modelleres som delmodell og ikke-0-observasjoner modelleres som ordinær GLM med log-link (Zeileis m.fl. 2008, Wagh og Kamalja 2017). Generalisert kan ZIP-modeller framstilles slik:

$$\Pr(y_j = 0) = \pi + (1 - \pi)e^{-\lambda}$$

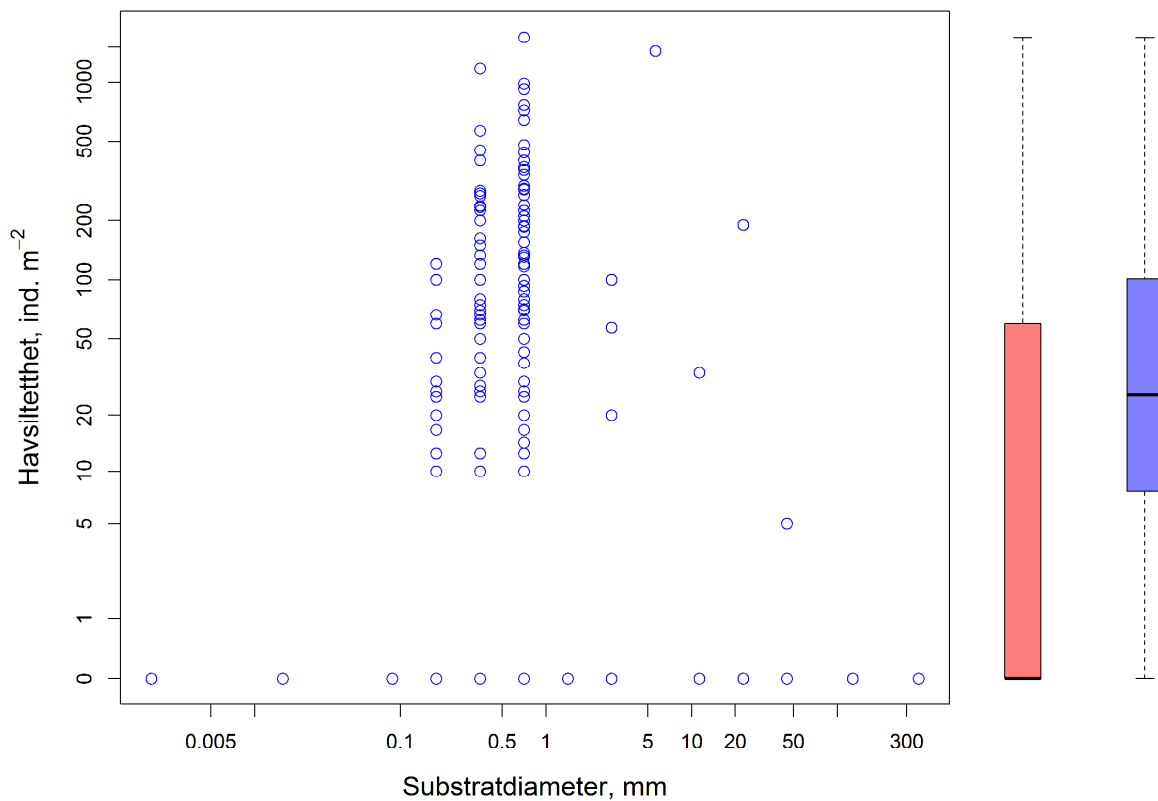
$$\Pr(y_j = h_i) = (1 - \pi) \frac{\lambda^{h_i} e^{-\lambda}}{h_i!}, \quad h_i \geq 1$$

der responsvariabelen y_j kan ha alle ikke-negative verdier og λ er den forventede Poisson-verdien for den i te observasjonen. π er sannsynligheten for ekstra 0-verdier (0-inflasjon) utover det en skal forvente fra Poisson-fordeling. Begge de to delmodellene kan modelleres som generalisert lineære modeller der 0-modellen modelleres med logit-link og antall-modellen modelleres som ordinær Poisson-modell med log-link. Gjennomsnitt fra modellene kan estimeres som $(1 - \pi)\lambda$ og variansen som $\lambda(1 - \pi)(1 + \pi\lambda)$.

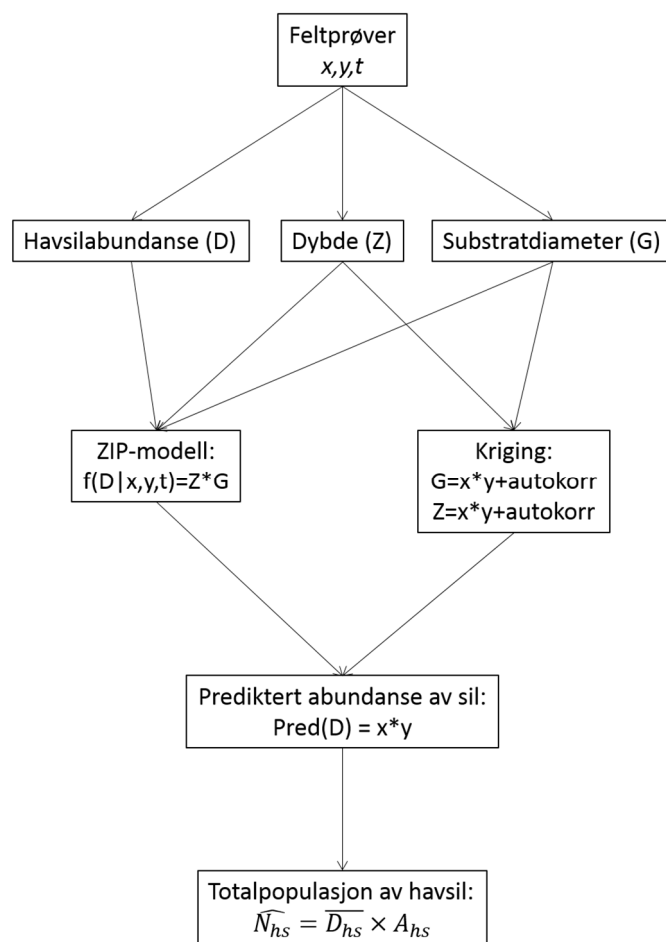
Som prediktorvariabler i de ulike ZIP-kandidatmodellene ble dybde og sedimentsammensetning brukt i ulike kombinasjoner for både null- og antall-delmodellene. Sedimentsammensetning ble konsekvent ln-transformert ut fra den ln-baserte Wentworth-skalaen. Det ble også tilpasset kandidatmodeller med annengradspolynomer for begge prediktorvariablene da vi forventet å finne optimumsverdier for begge (dvs dybde- og substratverdier med høyest havsiltetthet) som ikke var i noen av ekstremene av de målte verdiene, men snarere mot midten av dem. Modellutvalgelse ble utført ved hjelp av AICc (Burnham og Anderson 1998) der kandidatmodell med lavest AICc velges ut da denne modellen er den som mest effektivt balanserer presisjon i estimatene mot forklart variasjon ut fra gjerrighetsprinsippet (principle of parsimony, Burnham og Anderson (1998)).

Den romlige fordelinga av substrat- og dybde data ble modellert ved kriging, som er en interpoleringsteknikk som bruker autokorrelasjonsmodeller til å generere prediksjoner om responsvariablenes fordeling i rommet (her i x,y-rommet, Carr (2005)). I disse modellene brukte vi en lag-struktur på inntil 100 m og autokorrelasjonen ble modellert som uniform i alle retninger i alle punkt.

Ved å anvende predikerte substrat- og dybdefordelinger (basert på kriginganalysene) fra studieområdet på den utvalgte ZIP-modellen for havsiltetthet kunne vi for grid med 10-meter oppløsning estimere predikerte havsiltettheter ved ethvert gridpunkt. Ut fra estimater på gjennomsnittstettheter i utvalgte delområder (hele studieområdet, mudringsrenna, Lavvonjarg m.m.) kunne totalpopulasjonen for disse delområdene estimeres ved å multiplisere gjennomsnittstetthet (som da vil være vektet med hensyn på habitatsammensetningen innen disse) med havsilhabitatarealet innen disse. Hele estimeringsprosedyren er skissert i flyttdiagrammet i Figur 11.



Figur 10. Scatterplott av havsiltettheter som funksjon av substratdiameter per grabb fra alle de 9 storgrabbtoktene i 2017 og 2018. Til høyre er boksplott av havsiltetthetfordelingene vist for alle storgrabbsskuddene (lyserød) og uten 0-observasjonene (blå). Boksplottene viser 10 og 90 persentilen (de ytre strekene); 50 % av observasjonene er innenfor rektanglene og medianverdien er vist som den tykke svarte streken inne i rektanglene (ligger nederst i den lyserøde). Merk at aksene er log-transformerte.

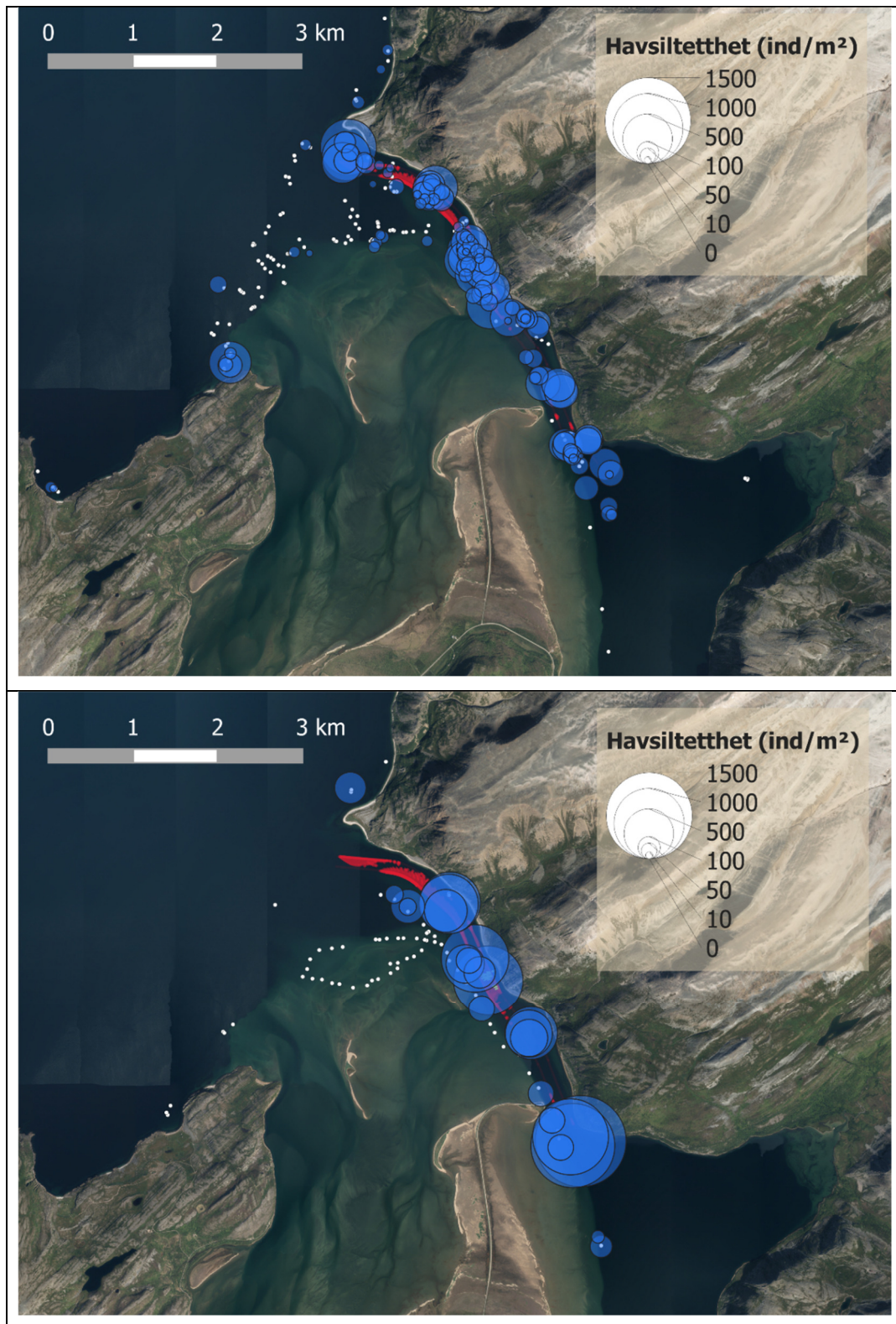


Figur 11. Flytdiagram av populasjonsestimeringsprosedyren og underliggende delanalyser som bygger opp under denne. \widehat{N}_{hs} = estimert havsilpopulasjon, \overline{D}_{hs} = gjennomsnittlig havsiltetthet i egnet havsilhabitat, A_{hs} = areal med egnet havsilhabitat, x = lengdegrad (UTM35, m), y = breddegrad (UTM35, m), z = dybde (m), autokorr = romlig autokorrelasjon (spherical, lags=10).

Resultater

Totalt samlet vi inn 1 518 havsil i de ni gjennomførte toktene. Antallet er fordelt kronologisk på de ni toktene: 186, 97, 193, 4, 37, 26, 140, 189 og 646 (samt fire i liten grabb, Figur 3 og 5). Figur 3 viser de totalt 284 grabbskuddene som ble foretatt på de ni toktene fordelt på de 13 forskjellige sonene, inkludert noen grabbskudd inne i selve Leirpollen på de første toktene. Det presiseres at det ble lagt til fem nye soner under Tokt 7, 8 og 9, uten at disse medførte betydelig høyere fangst. Figur 12 viser tetthet per kvadratmeter fordelt på de ni ordinære toktene. Sedimentene inne i selve Leirpollen viste at dette området ikke var egnet silhabitat og ved tekniske umuligheter for godkjente grabbskudd (medførte over 10 mislykkede grabbskudd per lokasjon grunnet hardt og tettpakket substrat) gjorde dette at sampling inne i Leirpollen etter hvert ble avsluttet. Vanskelige naturlige forhold (dyp/helningsgrad/bunnssubstrat) førte til ingen fangst av sil fra hovedsakelig sone K4 under Tokt 5 og Tokt 6. I sonene K3 og K4 er det kun fanget fire fisk under alle toktene til sammen.

Estimater for tettheter av sil i studieområde og influensområdene



Figur 12. Bobleplott av grabbdata for tetthet av havsil i Tanautløpet 2017 og 2018. Øvre figur viser tettheter beregnet for runder utenom gytesesongen og nedre figur er for gytesesongen 2018 (november). De hvite prikkene er grabbprøver som ikke inneholdt sil.

Den gjennomsnittlige tettheten av havsil ble estimert til å være $35,7 \pm 46,0$ (SD) individer per m^2 utenfor gytesesongen (og sommeren) og $132,1 \pm 170,0$ (SD) individer per m^2 i gytesesongen innenfor det $8,42 \text{ km}^2$ store arealet med egnet havsilhabitat (3–30 m dyp og med substrat $> 0,1 \text{ mm}$) i studieområdet.

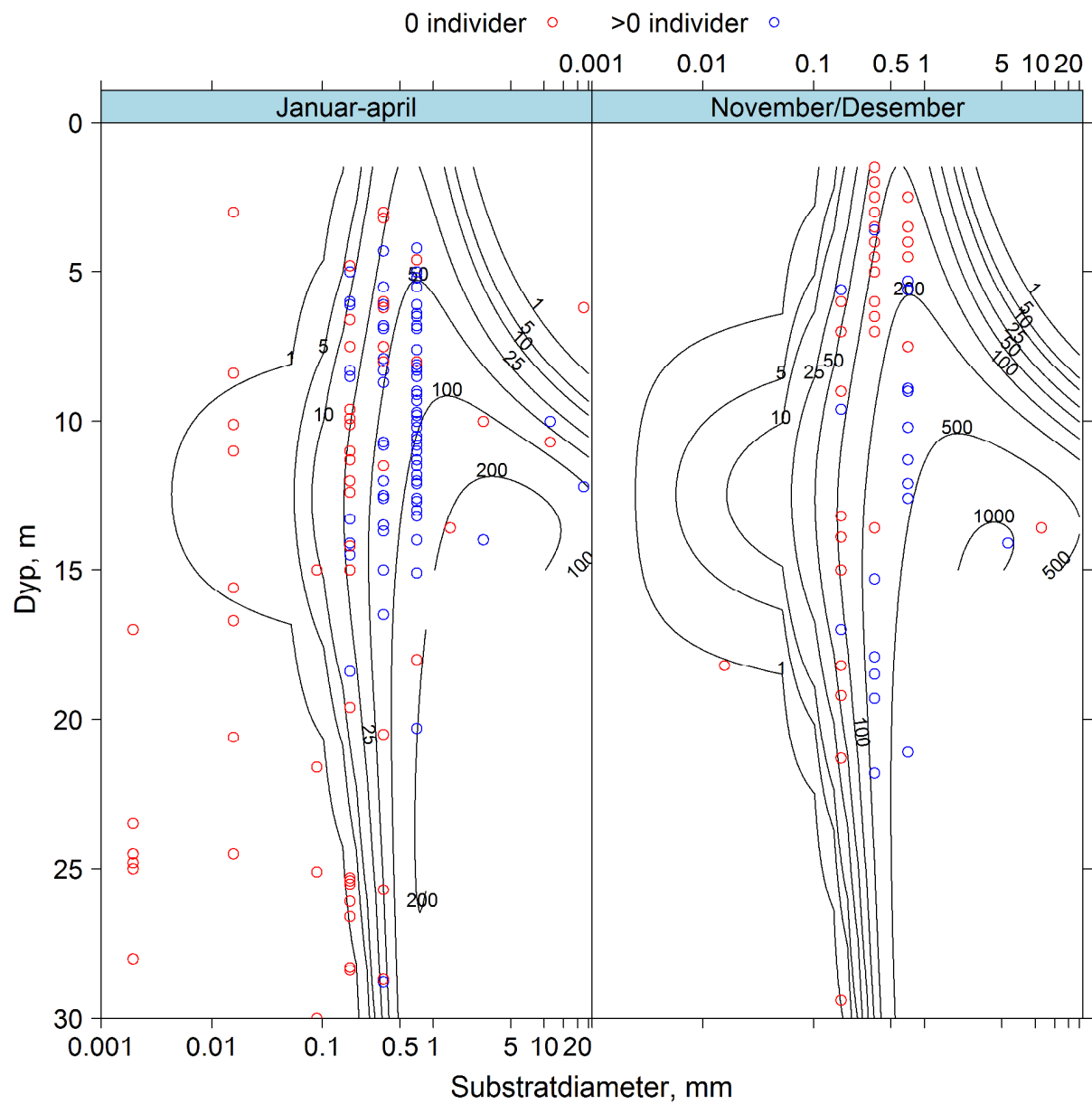
Totalt sett var 99,5% av fisken fra Tokt 1 fra M-sonene. Under Tokt 2 var 67% av fisken fra M-sonene og i Tokt 3 var 98% fra M-sonene (totalt 4 fisk i K-sonene). Under Tokt 4 og Tokt 6 var alle fiskene fra M-sonene. I Tokt 5 var 94 % av fiskene fra M-sonene. Under Tokt 7, 8 og 9 ble henholdsvis 85%, 91% og 96% av all silen fanget i M-sonene. Disse forholdstallene er noe overestimerte for M-sonene siden det ble brukt fem grabbskudd (istedenfor tre) i sone M1 og M2.

Silen som ble samlet viste en klar dominans i grov sand, men det ble også konstatert silindivider i middels grov sand og fin sand (Tabell 2 og 3; Figur 13). I de fineste substratene (silt og leire) og i grus ($>2\text{mm}$)/steinsubstrat ble det ikke funnet sil. Tabell 2 viser andelen grov sand (0,5-2mm) i K- og M-soner fordelt på de forskjellige toktene, med en klar dominans i M-sonene. Alle grabbprøvene i M-sonene under alle tokt hadde middels til grov sandkornstørrelse. Under Tokt 3, 6, 7, 8 og 9 ble det ikke funnet grov sand i K-sonene i det hele tatt. Grabbskuddene lengst inn i Leirpollen bestod av fint materiale som silt og leire, og som derfor er uegnet som silhabitat.

Det ble kun observert ett silegg i sedimentprøvene fra Tokt 1, mens det ble observert 14 silegg (fordelt på 13 og ett egg i to forskjellige prøver) i sedimentprøvene fra Tokt 2. Det ble ikke funnet silegg i sedimentprøvene fra Tokt 4-6. Sedimentprøvene fra Tokt 3 ble ikke analysert for egg.

Tabell 2. Andel grabbskudd med grov sand (beste silhabitat) fordelt på M- og K-soner per Tokt (1-9).

Tokt	Andel grov sand M-soner	Andel grov sand K-soner
1	83,0%	8,3%
2	68,8%	16,7%
3	62,5%	0%
4	75%	16,7%
5	43%	11,1%
6	58,3%	0%
7	62,5%	0%
8	50%	0%
9	62,5%	0%



Figur 13. Prediksjonsplott av ZIP-modellen som er presentert i **Feil! Fant ikke referanse-kilden.** (og appendiks). Konturene representerer estimerte tettheter av havsil (individer pr m²). Enkeltobservasjoner fra grabbskudd er vist både for prøver uten fangst av havsil (røde) samt med fangster av havsil (blå).

Tabell 3. Parameterestimerer for ZIP-modellen som ble valgt ut basert på AICc. Modellen predikterer tetthet av havsil som funksjon av dybde og substratdiameter (diam) for hele undersøkelsesområdet. Legg merke til at de to undermodellene har ulik link-funksjon. Koeff = koeffisient, SE = standardfeil. Modellen hadde en forklaringsgrad på hele 92% ($R^2_N=0,92$). Intercept representerer skjæringspunkt for januar-april-perioden.

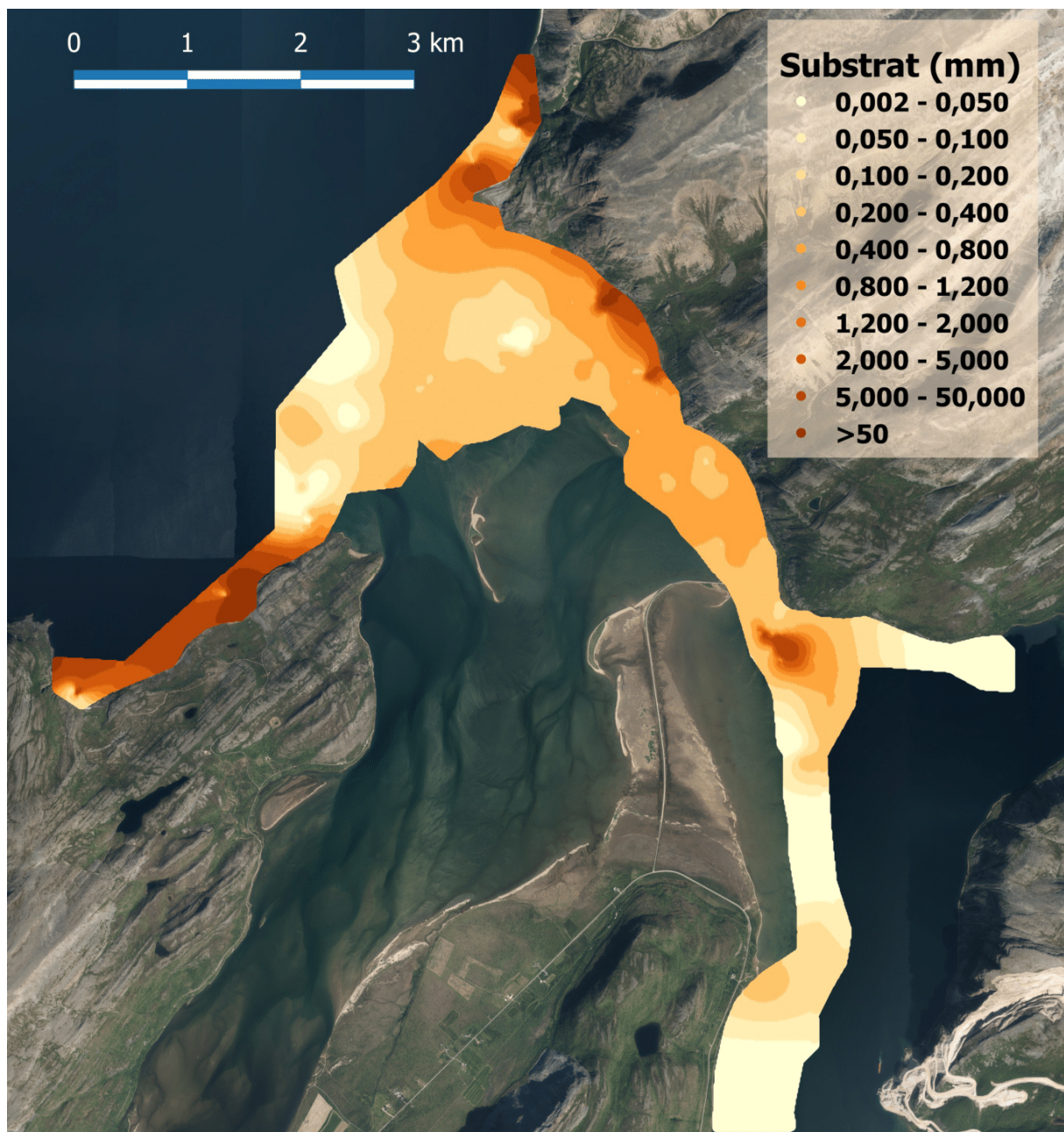
Term	Koeff	SE
Antall-modell (log-link)		
Intercept	3.2017	0.0532
ln(diam)	-	0.0403
	2.6685	
ln(diam)²	-	0.0430
	2.2803	
dybde	0.2777	0.0068
dybde²	-	0.0002
	0.0075	
Sesong[Nov/des]	1.3076	0.0136
ln(diam)*dybde	0.4389	0.0058
ln(diam)²*dybde	0.3250	0.1132
ln(diam)*dybde²	-	0.0003
	0.0149	
ln(diam)²*dybde²	-	0.0034
	0.0127	
0-modell (logit link)		
Intercept	0.2600	0.3297
ln(diam)	-	0.2025
	0.2801	
Dybde	-	0.0248
	0.0642	

Setter man sammen informasjonen om dybde- og substratforholdene mot havsiltetthetene, kommer det fram av heatmap-plottet (Figur 14 for substrat) at havsilen har tydelige «hotspots» koblet til disse to variablene. Resultatene viser at de høyeste tetthetene er mellom 5 og 15 meter og 1-5 mm partikkelstørrelse i substratet. Når disse dataen tilpasses ZIP-modeller viser modellseleksjonen (**Feil! Fant ikke referansekilden.**; Figur 14; Appendiks) at den mest støtta modellen har en interaksjonseffekt

mellom $\ln(\text{substradiameter})^2$ og dybde^2 for antall-delmodellen og additiv effekt mellom $\ln(\text{substradiameter})$ og dybde for null-delmodellen.

$$\text{Havsiltetthet} = \ln(\text{diam})^2 * \text{dybde}^2 \mid \ln(\text{diam}) + \text{dybde}$$

Modellens parameterverdier er framstilt i Tabell 3 og et prediksjonsplott framkommer av Figur 4. Den utvalgte modellen er svært god da hele 94% av variasjonen i havsiltetthet forklares av denne. Modellen viser at en skal forvente å finne høyest tetthet ved 10-13 meters dyp og substratdiameter på 1-10 mm.

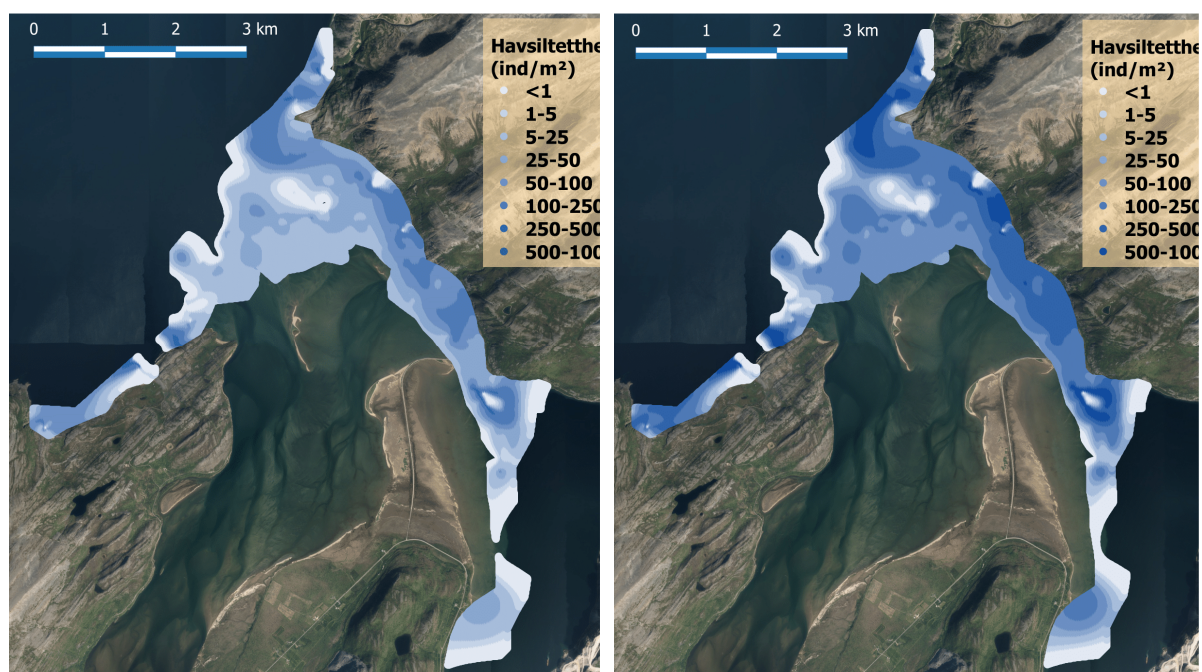


Figur 34. Heatmap av krigingresultatene for substratsammensetning i undersøkelsesområdet.

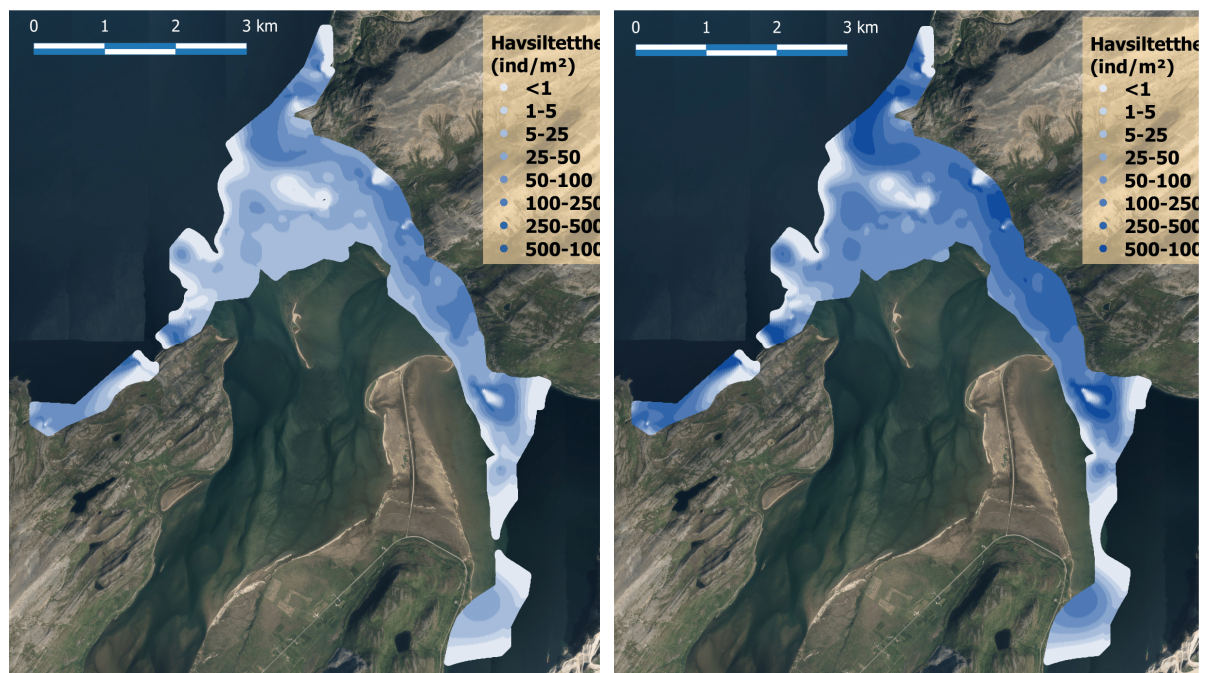
Estimater for bestandsstørrelsen av sil i studieområde og influensområdene

Totalpopulasjonen i studieområdet ble beregnet til å være **300,9 mill** individer (300,6301,2; 95% CI) utenfor gytesesongen og **1112,6 mill** individer i gytesesongen (1112,2–1113,1; 95% CI) (Tabell 4; Figur 15). Det er viktig her å presisere at disse tallene kun representerer den delen av populasjonen som er fangbare med grabb i bunnsubstratet for de aktuelle periodene.

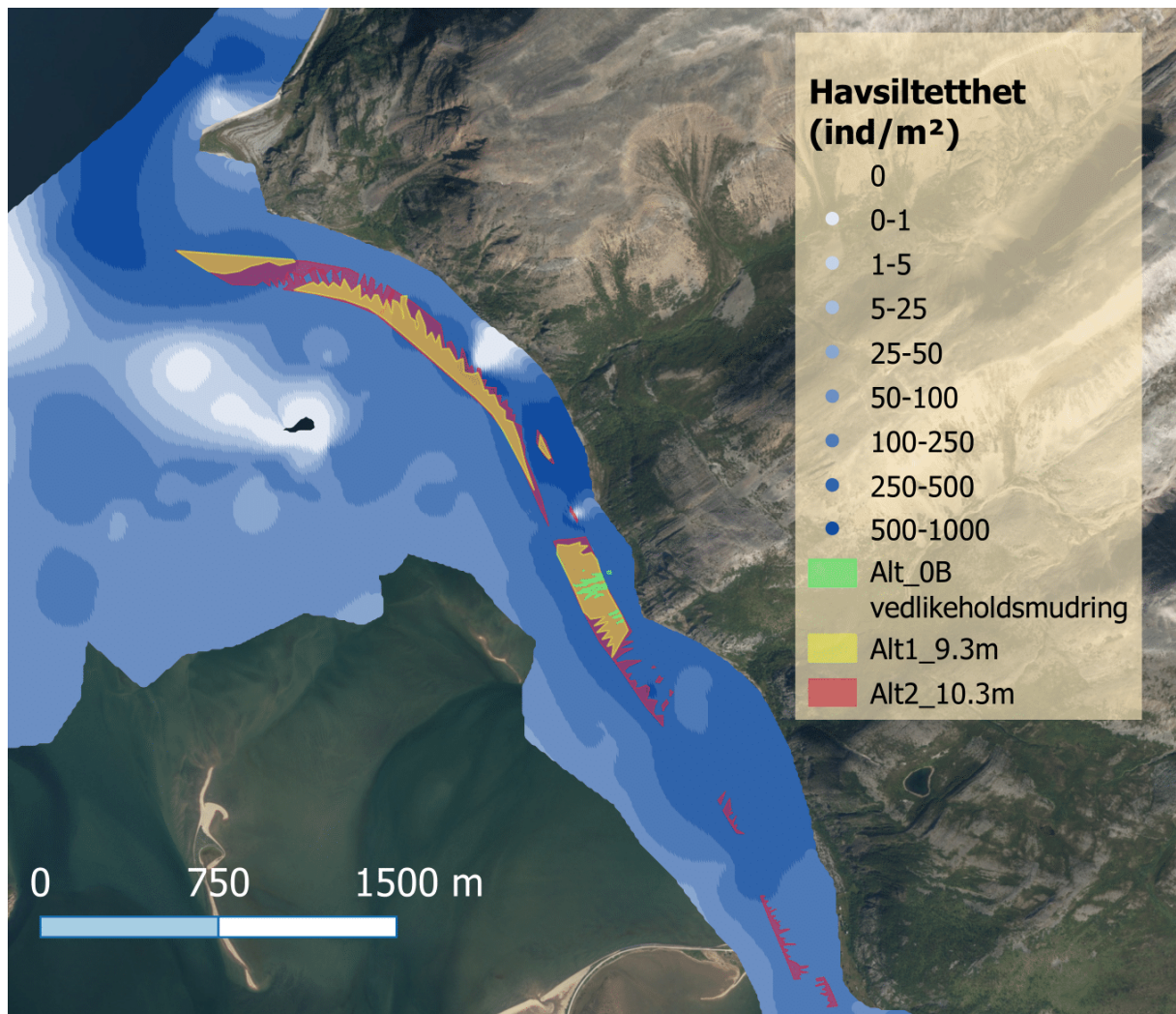
Tabell 4 oppsummerer estimatene av forventet antall individer og biomasse av havsil som potensielt påvirkes av de ulike mudringsalternativene. Tetthet og areal er også oppgitt i de aktuelle områdene. Tetthet er estimert fra ZIP-modellen i Tabell 3 ut fra substrat og dybdefordelingen i de respektive områdene. Se også Figur 16 for heatmap av predikerte havsiltettheter under kun gyteperioden i Tanautløpet med de tre mudringsalternativene indikert.



Figur 45. Heatmap av estimerte havsiltettheter (ikke gytesesong til venstre, gytesesong til høyre) basert på den utvalgte ZIP-modellen (Tabell 3) anvendt på krigingsmodeller for dybde og substratsammensetning (Tabell 3;



Figur 44).



Figur 16. Heatmap av predikerte havsiltettheter under gyteperioden i Tanautløpet med de tre mudringsalternativene indikert.

Tabell 4. Influenstabell med estimater av forventet antall individer og biomasse av havsil som potensielt påvirkes av de ulike mudringsalternativene. Tetthet og areal er også oppgitt i de aktuelle områdene. Tetthet er estimert fra ZIP-modellen i Tabell 3 ut fra substrat og dybdefordelingen i de respektive områdene. De samme estimatene er også presentert for hele studieområdet.

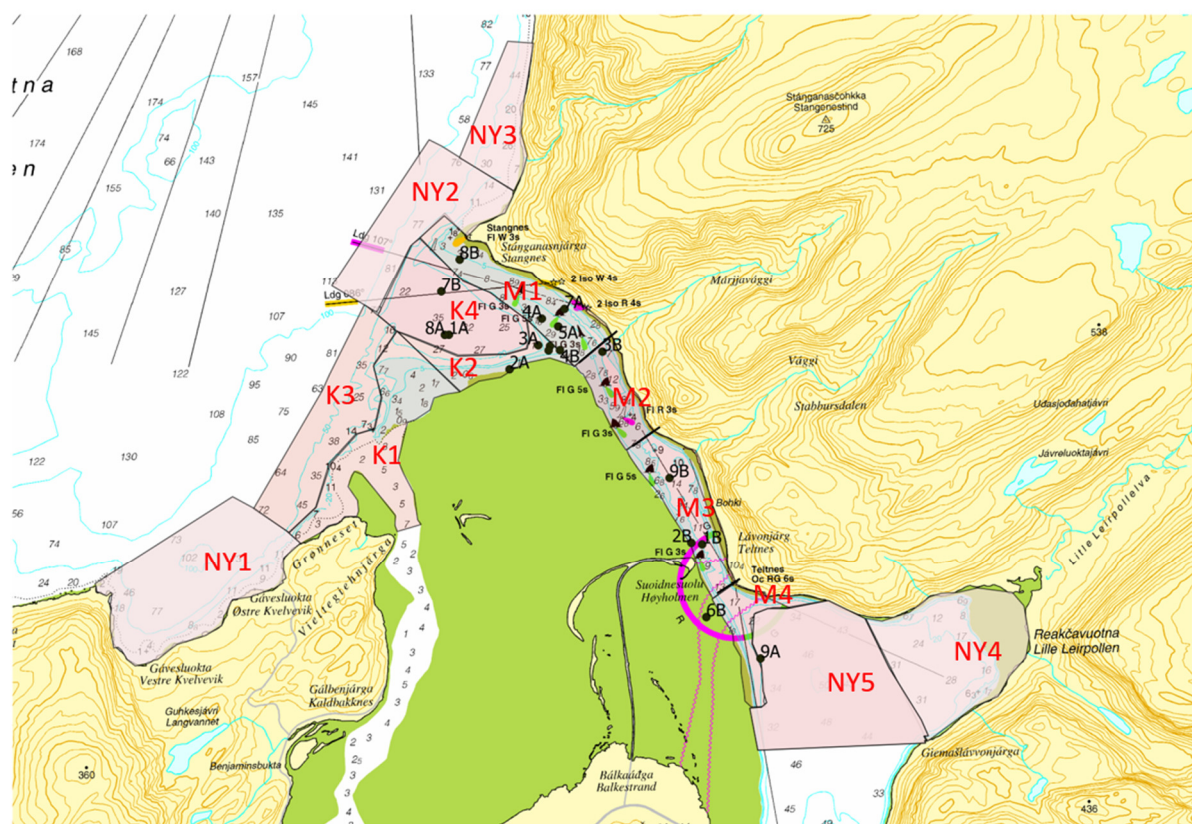
Utvalg	Areal (km ²)	Tetthet havsil (ind/m ²)				Totalt antall (mill)				Biomasse (tonn)	
		Jan-Apr		Nov/Des		Jan-Apr		Nov/Des		Jan-Apr*	Nov/Des**
		Snitt	SD	Snitt	SD	Est	SE	Est	SE		
Studieområdet	8.4200	35.74	45.98	132.13	169.98	300.9	0.31	1112.6	0.60	932.86	7009.14
Alt_0B	0.0056	90.5	0.01	334.43	0.03	0.51	0.01	2.025	0.01	1.58	12.76
Alt_1	0.1533	97.5	7.21	360.40	26.67	14.9	0.15	55.24	0.15	46.32	348.02
Alt_2	0.2794	99.05	7.97	366.19	29.45	27.7	0.28	102.3	0.28	85.79	644.56

*basert på gjennomsnittvekt på 3,2 gram etter Tokt 1, 2, 3, 7 og 8

**basert på gjennomsnittsvekt på 6,3 gram i Tokt 9

Horisontale håvtrekk

Sju av de 18 håvtrekkene (Figur 17 - posisjonene til håvtrekkene) inneholdt sillarver (Tabell 5). Det høyeste antall sillarver var i håvtrekk 4 på Tokt 2 med totalt fem sillarver. Sillarvene som ble fanget i håvtrekkene var svært små (4-8 mm) bortsett fra ett individ i håvtrekk 10, Tokt 5. Dette individet hadde trolig vært dødt en stund på grunn av sin tilstand. Dette individet var i siste del av sitt planktoniske stadium, før den blir knyttet til sanden resten av livet. Raudåte dominerte i mageinnholdet i Tokt 1, mens grønne plantealger dominerte mer og mer i Tokt 2 og 3. Under flere av håvtrekkene hadde håven et rødlig skjær på grunn av raudåte. I Noen av håvtrekkene (som håvtrekk 4, 5 og 6) var dominert av grønne plantealger.



Figur 17. Håvtrekk 1A-9B gjort i de forskjellige sonene gjennom Tokt 1-9. Kilde kartgrunnlag: Kartverket 2019 (WMS).

Tabell 5. Vannprøver fra håvtrekk med planktonhåv for alle tokt(1A-9B). Viser innhold i vannprøve samt dybde ned til bunnen og posisjon på håvtrekkene.

Tokt	Innhold håvprøve	Dybde (m) til bunn	GPS-posisjon
Tokt 1			
A	3 sillarver, dominert av raudåte 250 stk.	30-35	70.5333N, 28.3882E
B	0 sillarver, dominert av raudåte 150 stk.	13-14	70.5133N, 28.4573E
Tokt 2			
A	1 sillarve, mye egg (ikke silegg), 10 raudåte. Mye grønne plantealger.	4-7	70.5300N, 28.4048E
B	5 sillarver, dominert av grønne plantealger.	9-10	70.5135N, 28.4543E
Tokt 3			
A	1 sillarve, dominert av grønne plantealger. Lite raudåte	7-13	70.5322N, 28.4130E
B	0 sillarver, dominert av grønne plantealger. 50 raudåte	11-13	70.5314N, 28.4308E
Tokt 4			
A	2 sillarver. Dominert av raudåte (50stk)	4-5	70.5346N, 28.4142E
B	1 sillarve. Dominert av raudåte (100stk),	7-8	70.5317N, 28.419E
Tokt 5			
A	0 sillarver, Dominerte av raudåte, ca. 50stk. Noe amfipoder.	3-4	70.5339N, 28.4187E
B	1 sillarve (L _{TOT} =35mm). Mye grønne plantealger. Lite raudåte, ca. 20stk.	8	70.5321N, 28.4163E
Tokt 6			
A	0 sillarver. Lite raudåte, ca. 10 stk. mye organisk fra elva/flommen. Noen reker.	9-10	70.5317N, 28.4158E
B	0 sillarver. Ingen raudåte. En del organisk materiale.	10-11	70.5065N, 28.458E
Tokt 7			
A	0 sillarver. Mye raudåte (800-1000)	12	70.5354N, 28.4205E
B	0 sillarver. Mye raudåte (8-900)	35	70.5373N, 28.3863E
Tokt 8			
A	0 sillarver. Mye raudåte (700-800)	37	70.5333N, 28.3870E
B	0 sillarver. Mye raudåte (600-700)	9	70.5403N, 28.3916E
Tokt 9			
A	0 sillarver. 600 raudåte, 95% dominerende. Noen reker.	28	70.5025N, 28.4728E
B	0 sillarver. 500 raudåte, 95% dominerende. Noen reker	17	70.5195N, 28.4486E

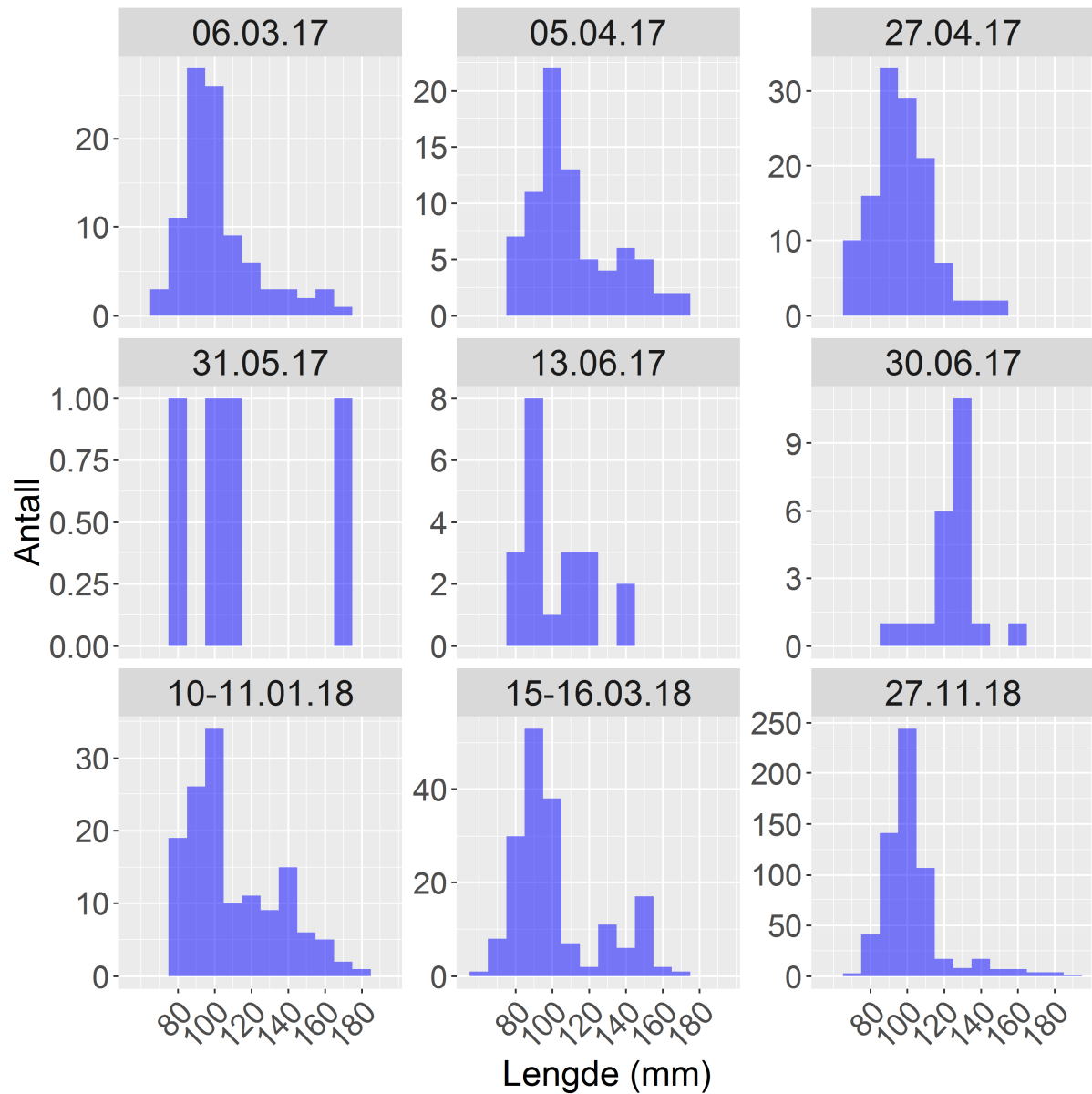
Individsammensetning

Silen som ble fanget med grabb varierte mellom 63 og 188 mm (Tabell 6), med en snittlengde på 100,8 mm og en snittvekt på 3,1 g (snittvekt basert på data fra Tokt 1-6). Figur 18 viser lengdefordeling, Figur 19 viser lengde ved alder og Figur 20 viser aldersfordeling for alle toktene.

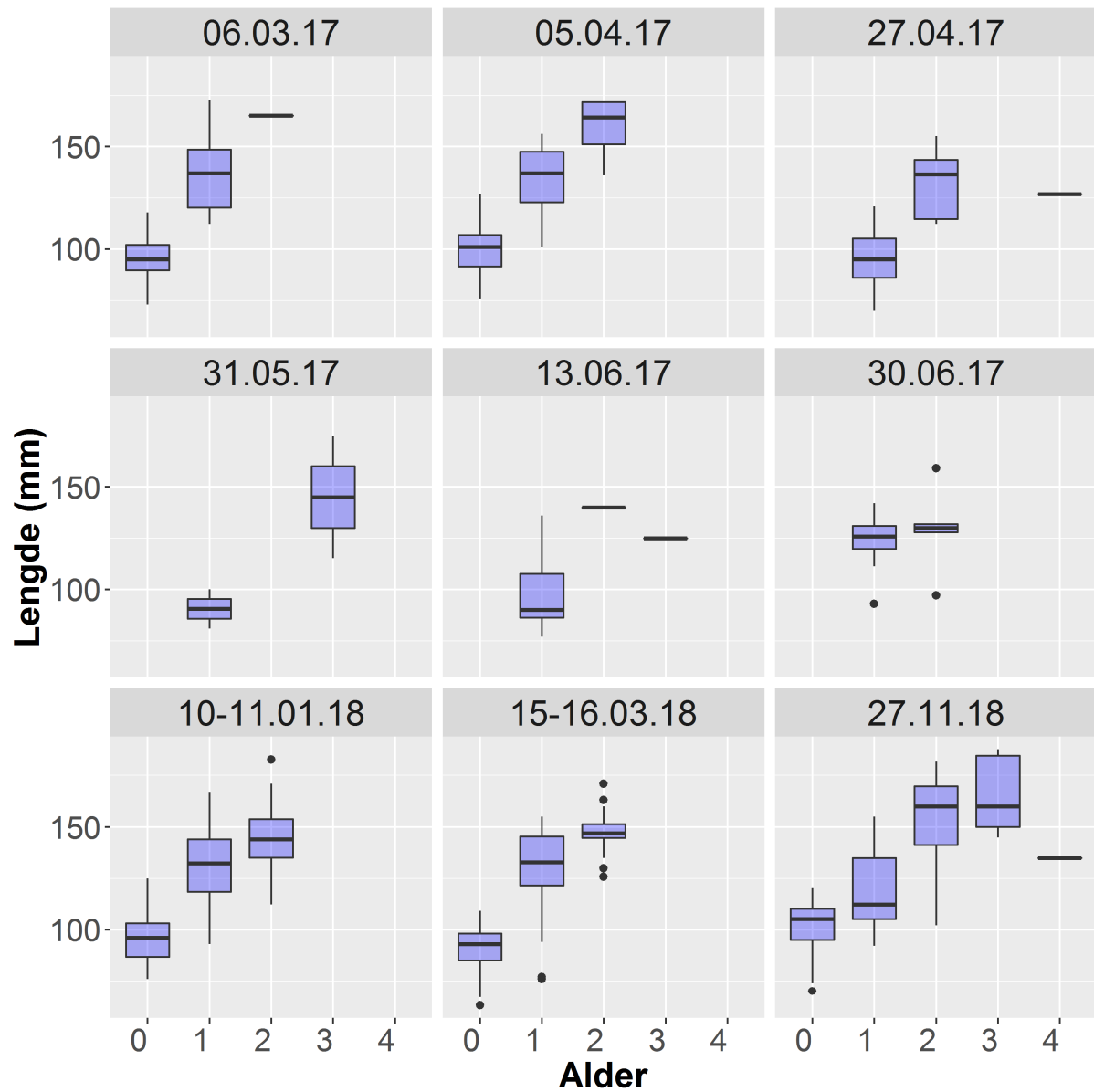
Selv om silen skal være mindre aktiv om «vinteren» ble det også da detektert fisk med mat i magen. Av den undersøkte fisken fra Tokt 7 hadde 40% mer enn 10% mageinnhold. Dette kan tyde på at fisken spiser også om vinteren. 32% av silen som ble undersøkt for mageinnhold dominerte føden av raudåte (Tukt 1-8). 43% av silen hadde plankton/annet i magen, og 25% hadde tomme magesekker.

Tabell 6. Snittlengde, maks- og minimumslengde samt snittvekt på sil for hver av de ni toktene. Tokt 4 hadde kun to individ som var mulige å måle på lengde og vekt og det viser derfor ingen snittlengde og snittvekt. Fisken ble ikke veid for Tokt 7-8.

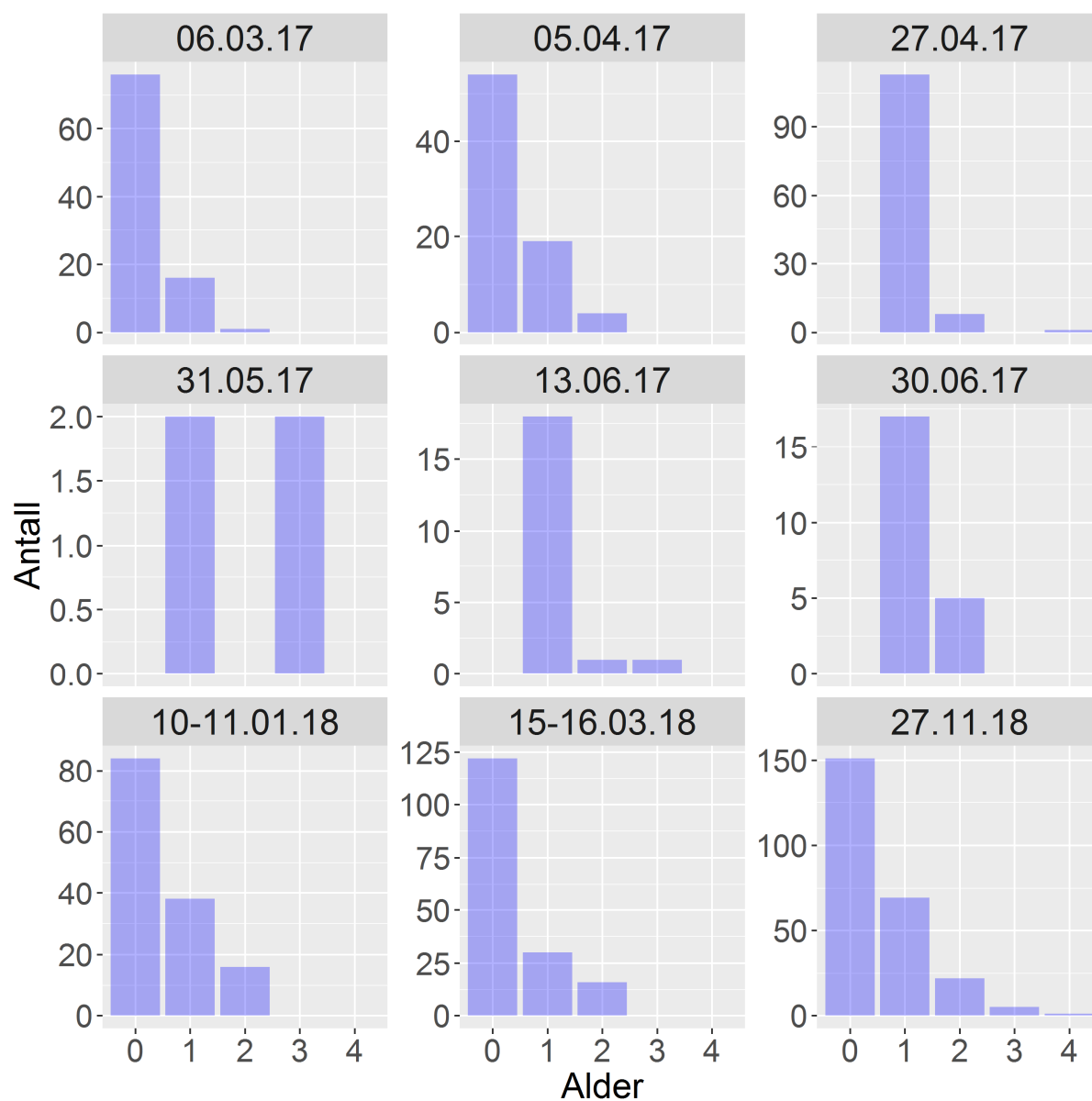
Tukt	Snittlengde (mm)	Minlengde (mm)	Makslengde (mm)	Snittvekt (g)
1	107,2	76	143	2,6
2	108,6	65	175	3,2
3	107,6	86	160	2,8
4	-(n=2)	84	175	-(n=2)
5	100,6	73	156	3,1
6	125,8	93	166	6,3
7	108	76	167	-
8	102,7	63	171	-
9	103,2	70	188	6,3



Figur 18. Lengdefordeling hos havsil innsamlet under alle ni toktene. Merk at y-aksene har ulik skala mellom rundene.

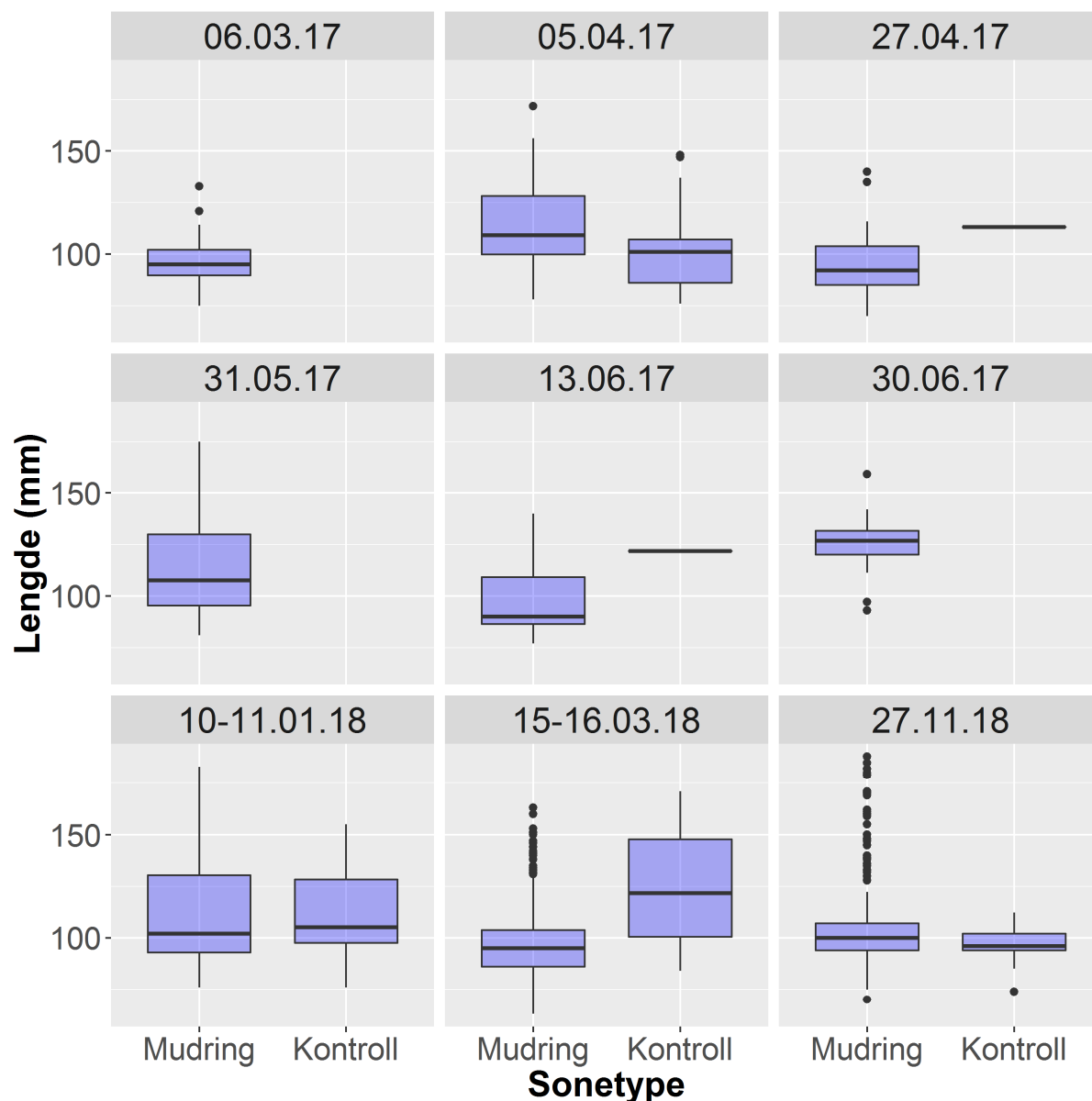


Figur 19. Boxplott av lengde ved alder hos havsil fra Tanautløpet under ni innsamlingsrunder i 2017 og 2018. Boksene dekker 50% av observasjonene, de vertikale strekene 90% av materialet og den tykke horisontale linja i boksen er medianen.



Figur 20. Aldersfordeling hos havsil for de ni innsamlingsrundene i Tanautløpet i 2017 og 2018. Det opplyses om at dette er basert på otolittlesninger og når nye vekstsoner framtreder.

Hvis vi ser på boxplotten av lengdefordeling mellom kontrollsoner og mudringssoner (Alt_2), er all gytefisk i mudringssonene i november 2018 (Figur 21).



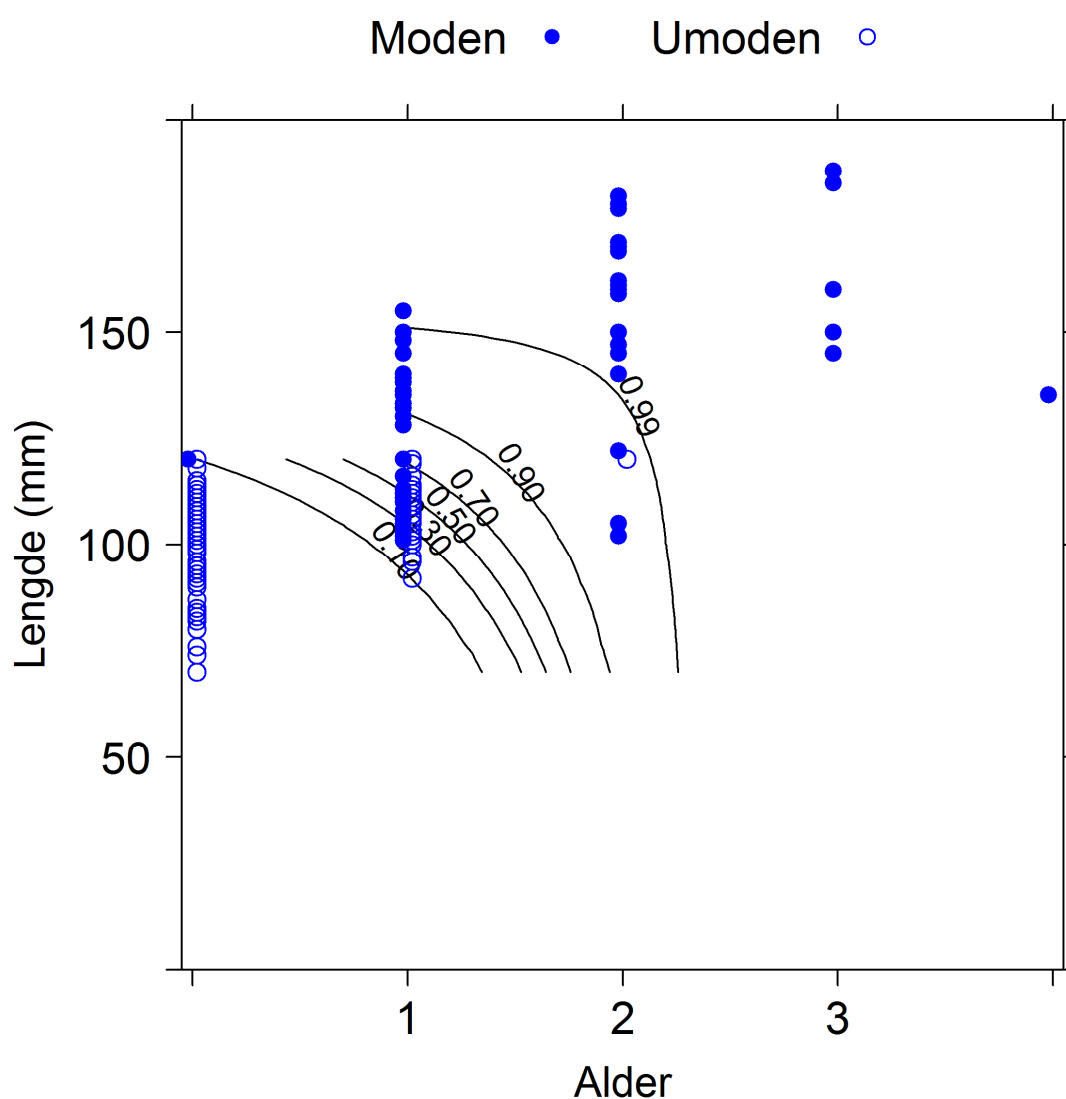
Figur 21. Boxplott av lengdefordeling mellom kontrollsoner og mudringssoner (Alt_2) hos havsil fra Tanautløpet under ni innsamlingsrunder i 2017 og 2018. Boksene dekker 50% av observasjonene, de vertikale strekene 90% av materialet og den tykke horisontale linja i boksen er medianen.

Kjønnsmodning

Havsilene i Tanautosen starter gyting (dvs 50% sannsynlighet for å være moden) i en alder av $1,92 \pm 0,05$ (\pm SE) og en lengde av $120,8 \pm 1,9$ mm. Bergstad m.fl. (2001) fant at 50% modning inntraff ved 140 mm lengde og 3,2 år i Nordsjøen. Selve modningsforløpet (reaksjonsnormen) er estimert med generalisert lineær modell som er vist i Tabell 7 og plottet i Figur 22. På grunn av mengden fisk under Tokt 9 ble det tatt foretatt full disseksjon (alder, kjønnsmodning, mageinnhold og lengde) av ca. 20 prosent av sil ≤ 110 mm. Av disse var 10 prosent kjønnsmodne. 43,4 prosent av all sil ≥ 110 mm ($n=145$) var kjønnsmoden. Dette tilsier at en betydelig andel av silen utenfor Tanamunningen (opp mot 20%) er kjønnsmoden midtvinters.

Tabell 7. Parameterestimer for kjønnsmodningsmodell hos havsil i Tanautløpet 2018. Parameterestimatene er på logit-skala og er estimert som en generalisert lineær modell.

Term	Estimat	SE	z	p
Intercept	-26.771	6.133	-4.365	<0.0001
Alder	13.703	4.110	3.334	0.0009
Lengde	0.204	0.052	3.893	0.0001
Alder*Lengde	-0.087	0.033	-2.659	0.0078



Figur 22. Estimert alders- og lengdespesifikk sannsynlighet for at havsil i Tanamunningen skal være kjønnsmoden. Estimatenes er vist som isolinjer og ble generert fra formelen i Tabell 7. Punktene viser rådata på lengde ved alder og der umodne individer har fått åpne punkter og modne lukkede punkter. Punktene er litt forskjøvet mellom de to gruppene for å øke synligheten.

Diskusjon

Basert på resultatene i denne fiskebiologiske undersøkelsen kan vi med sikkerhet si at silen i området utenfor Tanadeltaet viser en dominans i M-sonene i forhold til K-sonene og N-sonene. Dette gikk igjen i alle tokt, men var ikke så markant i datamaterialet fra Tokt 2. Det var kun i mudringsområder vi fant gyteklar sil under Tokt 9. Dominansen av sil i M-sonene kan skyldes mange faktorer, men preferert bunnssubstratet hos sil (grov sand) er mest tilstede i M-sonene (Wright m.fl. 2005). Dette skyldes trolig sorteringsprosesser av de lokale strømforholdene som skapes av tidevannet i Lavvonjargsundet og gjør at denne type sand, som er lett for vannstrømmen å forflytte, blir dominerende her. Det er også mulig at strømforholdene medfører at det er lite silt i disse beste områdene. Sil vil ikke trives i sand med mer enn 4% siltinnhold da dette gir liten oksyngjennomtrenging og sannsynligvis også vanskeligere å grave seg ned i. Sil vil sannsynligvis heller ikke gå dypere enn 8-10 cm fordi de respirerer med vannet som er mellom sandkornene. Under dette dypet vil vanntilstrømmingen være for lav, og dermed også lav oksygentilførsel. Vanntilstrømmingen vil ytterligere forverres av økende siltinnhold. Tidevannsstrømmen i innseilingen til Leirpollenstrømmen danner undulerende sanddyner som silen lett kan grave seg ned i. Dette gjør at sanden er oksygenrik og et godt silhabitat, også under gyting.

Selv om kontrollsonene er de områdene i nærheten som er mest like tiltaksområdet, er forholdene der ikke like forholdene i mudringsrenna. Substratet og vannstrømmen i mudringsrenna er svært spesiell sammenlignet med områdene rundt og trolig et suksesskriterium for at silen skal trives der. Resultatene våre tyder på at silen prefererer en dybde på mellom 5 og 15 meter. Dette er i det samme dybdeintervallet som planlegges å mudre. Ved fjerning av store mengder bunnssubstrat i M1- og M2-sonene, vil de områdene hvor silen er mest tallrik kunne bli negativt påvirket dersom substratet også endres som følge av dette. Men, hvis substratet forblir helt likt som før mudring, kan mudring av områder grunnere enn 5 m og ned til 9-10,5 m gi bedre silhabitat. Det vil være vanskelig å si noe om påvirkninger via tetthetsavhengige effekter av sil som rømmer fra mudringsområdet. Tilgang til optimalt silhabitat er en minimumsfaktor (flaskehals) tror vi, spesielt om vinteren og under gyting da tetthetene var over fire ganger høyere enn ellers av året.

Det er behov for flere undersøkelser som følge av at sil sannsynligvis er mer aktiv vinterstid enn tidligere antatt. Det er også et viktig moment at mye av silen som påvirkes av mudringen, ikke nødvendigvis dør som følge av dette, men kan flykte til andre egnede områder. Dette betyr at all denne silen må finne minst like godt habitat andre steder, noe som vil medføre økte tettheter av silindivider i områdene som ikke mudres. Denne tetthetsøkningen introduserer flere nye aspekter; økt tetthetsavhengig dødelighet, intraspesifikk konkurranse, osv. Dette og sannsynligheten for at det optimale habitatet er akkurat i mudringsområdene er en stor begrensende faktor må undersøkes videre, spesielt fra september til desember.

Tiltaksområdet er kanskje det viktigste kjente gyte- og oppvekstområdet for silen i Tanafjorden, og en endring av dette arealet til det negative vil være uheldig. En strømningsmodell kan vise hvordan en eventuell mudring vil endre tidevannsstrømmen og hvordan sanden vil legge seg i tiden etter en eventuell mudring. Dette er et komplisert fagfelt uten eksakte svar, og virkeligheten kan variere stort fra modellene. Ved en mudring vil all sil som ligger i sanden gå tapt hvis sanden lagres på lekter/gram

før deponering. Alle alternativer av metoder for mudring og transport/oppbevaring av sedimenter må utforskes for å øke overlevelsen hos silen, hvis det fortsatt er sil i sanden i tiltaksperioden.

Vi kan tydelig se trender i forekomstene av sil når vi sammenligner fangstene fra de forskjellige toktene. Det klareste skillet i antall sil er mellom Tokt 3 og Tokt 4, dvs. hovedsakelig i løpet av mai måned, og Tokt 9 i slutten av november. Tokt 4 ga kun en brøkdel av fangsten sammenlignet med de tidligere toktene med kun fire individ. Tokt 5 og 6 ga også lave fangster sammenlignet med de første tre toktene. Vi avventet Tokt 4 til etter isen i Tanaelva hadde gått pga. flom og isgang og for å kunne se om dette påvirket fangstene av sil like mye som det påvirker økosystemet generelt. Flom/isgang er en viktig faktor som påfører økosystemet store endringer, spesielt i arktiske strøk. Under Tokt 4 observerte vi store stimer med sil helt i overflaten som trolig var på jakt etter mat. Dette var også dette toktet hvor det var desidert minst sil i grabbprøvene. Dette styrker vår teori om at flommen setter i gang silens vandring opp av sanden og ut i de frie vannmassene. Vannet var svært grumsete under Tokt 4 sammenlignet med de andre toktene. Flom med grumsete vann kan gi godt skjul for silen når den er oppe fra grusen og jakter etter mat. Tokt 2 hadde også en redusert mengde sil i forhold til Tokt 1 og 3 (med ca. 50%), noe som ikke kan forklares med endringer i flom eller isgang i elva da dette var på sen vinteren/tidlig vår. Dette kan skyldes tilfeldige endringer i grabbposisjonene eller lokale forhold. Vær og temperatur var relativt likt på begge disse to toktene, og det var fortsatt tidlig på sesongen i nord. Tokt 7 og 8 hadde relativt høye tettheter, på linje med vintertoktene, Tokt 1-3 i 2017. Tokt 9 peker seg ut som det alle høyeste tettheter og antall sil i mudringsområdet sammenlignet med de andre 8 toktene. Det er meget viktig å understreke at vi vet ikke når på høsten det store antallet sil etablerer seg i området. Det er sannsynlig at antallet øker betydelig etter sommeren, når silen «returnerer» til sanden, og at antall og tettheten er like høy som under Tokt 9, og dette forholdet er slik fra ca. september og frem til etter gyting (sen november til ca. nyttår).

Den store mengden gytemoden sil i området M4 under Tokt 9 kan tyde på at det er en egen havsilpopulasjon som gyter der. Denne hypotesen forsterkes av Præbel m.fl. (2019) sine undersøkelser.

Egg og larver var lite utbredt i både sedimentprøver og håvtrekk. Tokt 7 skiller seg ut med over 80 silegg, og alle disse var i sone M2. Tokt 2 og 8, i henholdsvis starten av april 2017 og midten av mars 2018, var de toktene med moderate tettheter av silegg (13 egg i sone M1 Tokt 2 og 10 egg i sone M2 Tokt 8). Den høye tettheten av rogn i sanden under Tokt 7 var forventet da dette var i starten av januar, rett etter gytetiden. Det må nevnes at dette var svært tidkrevende og å øke størrelsen på subsamplen av sedimentprøven for å øke deteksjonsgraden av silegg ville ført til en uforholdsmessig økning i kostnader sammenlignet med hvor verdifull informasjonen var etter vårt skjønn.

Sandbunnforholdene og de store mengdene raudåte som ble funnet i håvprøvene viser at det er gode oppvekst- og levevilkår for silen i området. Tokt 9 viser at silen utenfor Tanamunningen kan være kjønnsmoden helt ned i 101 mm lengde, og at sannsynligheten for kjønnsmodning økte kraftig med lengden. All sil over 120 mm var kjønnsmoden under Tokt 9. Berstad m.fl (2001) fant at alle sil over 170 cm er kjønnsmoden, og under 115 er umodne. Dette er riktignok forskning fra Nordsjøen, som ligger betydelig lengre sør enn Tanafjorden. Dette kan være påvirket gyte- og klekkespunkt, samt

mange andre faktorer som påvirker livssyklus og vekst/aldring. Silen fra studien i Nordsjøen var også generelt eldre enn fisken vi har i vår studie.

Havsil kan bli opp mot 10 år gamle, men det er sjelden de blir eldre enn 2 år (Bergstad m.fl. 2001). Dette sammenfaller også med de funnene vi har gjort. Sil som gyter forbrenner trolig mye energi og dør i stor grad etterpå. Vi ble fortalt i etterkant av Tokt 7 at fiskere hadde fått torsk uka før jul 2017, og at disse var proppfulle av sil (pers. komm. skipper Jon Inge Guttormsen). Gyteklar og nylig utgytt sil under Tokt 9 bekreftet at gytetiden for sil utenfor Tanaelva er slutten av november og kanskje hele desember.

Våren/sommeren i Finnmark kom svært sent i 2017 sammenlignet med tidligere år. Datoene brukt i denne undersøkelsen i 2017 må derfor ikke sammenlignes med kommende års datoer, men snarere etter når på sesongen feltarbeidet blir utført. Vi tror at den første store vårflommen/isgangen i Tanaelva er en viktig igangsettingsfaktor (environmental cue) for når silen går ut av sanden og starter furasjeringen i vannmassene.

Silen bruker sanden som gjemmede om natten og vandrer ut i vannmassene for å spise på dagtid (DN 2011). De første toktene ble gjort fra tidlig på morgenen til utpå dagen for å kunne dekke den tiden av døgnnet hvor silen skal være aktiv. Da vi oppdaget den store nedgangen i silfangst på Tokt 4, valgte vi å legge om de etterfølgende toktene til natten. Vi ville undersøke om det likevel var høye forekomster av sil i sanden om natten. Vi fikk derimot lave tettheter av sil også under Tokt 5 og 6, selv om disse ble gjort på natten. Silen er trolig langt mer aktiv gjennom hele døgnnet i Arktis der det er midnattssol, men likevel vil det være mindre sil i sanden om dagen på sen vår/sommer.

Silens viktigste føde var raudåte. Sil som ble samlet i hele perioden hadde føde i magen, også i perioden før juni (januar, mars, april, mai). Selv gyteklar sil hadde opp til 30 % magefylling i slutten av november. Det er vist at dyreplankton og faktisk mye av økosystemet utenom primærproduksjon er aktiv gjennom hele vinteren i arktisk/polarområder (Berge m.fl. 2015). Våre undersøkelser viser også at sil utenfor Tanaelva er aktiv under hele samplingsperioden og inntar mat også vinterstid. Dette kan ha stor positiv betydning for påvirkningsgrad av anleggsaktivitet vinterstid siden da er det mulig at flere sil kan «rømme unna». Silen som ble samlet inn vha. grabb sommerstid var også da mest tilstede i farleden. På våren ble det observert stimer av sil i overflaten, og skipperne fortalte oss om at det er vanlig å oppdage «silballe» - stimer av sil i overflaten, som fugleflokker forfølger og dykker etter.

Det nødvendig å understreke silens betydning som nøkkelart i økosystemet i Tanafjorden. Hvis en mudring av innseilingen til Leirpollen viser seg å være økologisk forsvarlig, vil det være **svært viktig** når på året og hvordan mudringen gjennomføres. Det understrekes at påvirkningstallene i Tabell 4 er uavhengig av årstid, med unntak av for sommeren hvor vi ikke har pålitelige tetthetstall, og at dette er minimumstall. Bestanden med effekter kan derfor være langt større. Det er dermed svært vanskelig å anslå eksakte effekter på silbestanden ved mudring, men en mudring midtvinters (i den perioden silen bruker sanden mest) i det beste silhabitatet, vil potensielt medføre store negative effekter på bestandsnivå for silbestanden i området. Sommermudring bør være mest skånsomt for bestanden av sil utenfor Tanaelva.

Hvis en mudring gjennomføres, anbefaler vi et miljøoppfølgingsprogram med metodikk likt det som er presentert i dette notatet. Dette bør gjennomføres under og etter mudringsperioden det året det mudres samt under selve mudringen. I tillegg bør det gjøres lignende studier samme år og helst en gang til, tre eller fem år etter mudringen er gjennomført, med flere tokt gjennom året for hvert av disse årene. På denne måten kan man dokumentere eventuelle endringer i bestanden og undersøke mer rundt når silen returnerer til sanden, gytingen og hvor de voksne individene og eggene befinner seg. Vi anbefaler i tillegg at det parallelt med grabbsampling gjennomføres ekkoloddkjøringer i hele Tanafjorden for å kartlegge forekomst av sil i hele fjorden, for å fastsette den relative viktigheten av Leirpollenområdet som silhabitat samt påvise forekomster av gytefisk og gyteplasser, under alle fire årstider. Kombinasjon av ekkolodd med grabb har vist seg å gi komplementær informasjon der ekkolodd-data direkte kan brukes til estimering av abundanse og størrelsesfordeling (samt total biomasse via lengde-vekt-forholdet) og grabbdata brukes til ground-truthing (verifisering) av ekkodataene samt gir nødvendig biologisk data (Greenstreet m.fl., 2010).

Referanser

- Bakketeig I.E., Hauge M. og Kvamme C. (red). 2017 Havforskningsrapporten 2017. Fisken og havet, særnr. 1–2017.
- Berge J., Malin Daase, Paul E. Renaud, William G. Ambrose, Gerald Darnis, Kim S. Last, Eva Leu, Jonathan H. Cohen, Geir Johnsen, Mark A. Moline, Finlo Cottier, Øystein Varpe, Natalia Shunatova, Piotr Bałazy, Nathalie Morata, Jean-Charles Massabuau, Stig Falk-Petersen, Ksenia Kosobokova, Clara J.M. Hoppe, Jan Marcin Węśławski, Piotr Kukliński, Joanna Legeżyńska, Daria Nikishina, Marine Cusa, Monika Kędra, Maria Włodarska-Kowalczyk, Daniel Vogedes, Lionel Camus, Damien Tran, Emma Michaud, Tove M. Gabrielsen, Andrei Granovitch, Anya Gonchar, Rupert Krapp, Trine A. Callesen. 2015. Unexpected Levels of Biological Activity during the Polar Night Offer New Perspectives on a Warming Arctic, *Current Biology*, Volume 25, Issue 19, s. 2555-2561.
- Bergstad O. A. Høines Å.S, Krüger-Johnsen E. M. 2001. Spawning time, age and size at maturity, and fecundity of sandeel, *Ammodytes marinus*, in the north-eastern North Sea and in unfished coastal waters off Norway *Aquat. Living Resour.* 14 293–301
- Burnham, K. P., og D. R. Anderson. 1998, *Model Selection and Inferences*. New York, Springer Verlag.
- Carr, J. R. 2005. Spatial Statistics for Remote Sensing. *Mathematical Geology* 37:549-550.
- DN (Direktoratet for naturforvaltning). 2011. Utredning om havsil, med særlig fokus på dens betydning i økosystemet og behov for tverrsektorielle tiltak. DN-rapport 1-2011. 45s.
- Greenstreet Simon P.R., Eric Armstrong, Henrik Mosegaard, Henrik Jensen, Iain M. Gibb, Helen M. Fraser, Beth E. Scott, Gayle J. Holland, Jonathan Sharples. 2006. Variation in the abundance of sandeels *Ammodytes marinus* off southeast Scotland: an evaluation of area-closure fisheries management and stock abundance assessment methods, *ICES Journal of Marine Science*, Volume 63, Issue 8, ss. 1530–1550.
- Greenstreet, S. P. R., G. J. Holland, E. J. Guirey, E. Armstrong, H. M. Fraser, and I. M. Gibb. 2010. Combining hydroacoustic seabed survey and grab sampling techniques to assess “local” sandeel population abundance. *Ices Journal of Marine Science* 67:971-984.
- Holland G. J., Greenstreet S. P. R., Gibb I. M., Fraser H. M., Robertson, M. R. 2005. Identifying sandeel *Ammodytes marinus* sediment habitat preferences in the marine environment. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 303: 269–282
- Johnsen Espen, Harbitz Alf. 2013. Small-scale spatial structuring of burrowed sandeels and the catching properties of the dredge, *ICES Journal of Marine Science*, Volume 70, Issue 2, ss. 379–386.
- Præbel, K., Andrews, A., Figueiredo, F., Bhat, S. 2019. Artssammensetning og lokal populasjonsstruktur av sil i Tanafjorden. UIT – Norges arktiske universitet. Norges fiskerihøgskole. Tromsø. 27s.
- Svenning M.A., Fagermo S.E., Barrett R.T., Borgstrøm R., Vader W., Pedersen T., Sandring S. 2005. Goosander predation and its potential impact on Atlantic salmon smolts in the River Tana estuary, northern Norway *Journal of Fish Biology*. 66. 924-937.
- Wagh, Y. S., og K. K. Kamalja. 2017. Zero-inflated models and estimation in zero-inflated Poisson distribution. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*:1-18.
- Wright P.J., H. Jensen, I. Tuck. 2000. The influence of sediment type on the distribution of the lesser sandeel, *Journal of Sea Research*, Volume 44, Issue 3, 243-256.
- Zeileis, Achim, Christian Kleiber and Simon Jackman 2008. “Regression Models for Count Data in R.” *Journal of Statistical Software*, 27(8). URL <http://www.jstatsoft.org/v27/i08/>.

Appendiks

Modellseleksjonstabell for ZIP-modeller som estimerer tetthet av havsil ($y = \text{ant. m}^{-2}$) som funksjon av dybde og substratsammensetning i studieområdet. Kandidatmodellene er tilpasset data fra alle tokt unntatt sommertoktene i 2017. Generell modellstruktur: $y = \text{antall} \mid \text{Pr}(y=0)$. K = antall parametere, AICc = korrigert Akaiikes Inforamsjonskriterium, ΔAICc = differensen mellom kandidatmodell og kandidatmodell med laves AICc, ModelLik = modellsansynlighet blant kandidatmodellene, AICcWt = AICc-vekt (modellens AICc-støtte), LL = loglikelihood-verdien. Poly(x,2) betyr x^2 .

Modnames	K	AICc	Delta_ AICc	Mod elLik	AICc Wt	LL	Cum .Wt
poly(log(Diameter), 2) * poly(depth, 2) + SpS log(Diameter) + depth	1 3	1323 7.36				- 6604 .92	
poly(log(Diameter), 2) * poly(depth, 2) log(Diameter) + depth	1 2	2154 7.89	8310.5 3			- 1076 1.3	
poly(log(Diameter), 2) + poly(depth, 2) + log(Diameter):depth log(Diameter) + depth		2249 4.84	9257.4 83			- 1123 8.1	
poly(log(Diameter), 2) + poly(depth, 2) log(Diameter)		2266 6.66	9429.3 09			- 1132 6.1	
poly(log(Diameter), 2) + poly(depth, 2) log(Diameter) + depth		2266 8.7	9431.3 41			- 1132 6.1	
poly(log(Diameter), 2) * depth poly(Diameter, 2)		2473 8.81	11501. 46			- 1236 0	
poly(log(Diameter), 2) * depth log(Diameter) * depth	1 0	2474 9.81	11512. 46			- 1236 4.5	
poly(log(Diameter), 2) * depth log(Diameter)		2475 0.25	11512. 89			- 1236 6.8	
poly(log(Diameter), 2) * depth log(Diameter) + depth		2475 2.38	11515. 02			- 1236 6.8	
poly(log(Diameter), 2) + depth log(Diameter) * depth		2475 2.59	11515. 24			- 1236 8	
poly(Diameter, 2) + poly(depth, 2) poly(Diameter, 2) + poly(depth, 2)	1 0	2501 8.97	11781. 61			- 1249 9	
log(Diameter) * poly(depth, 2) log(Diameter) + depth		2584 6.57	12609. 22			- 1291 3.9	

						-	
poly(depth, 2) + Diameter poly(depth, 2) + Diameter	8	2673 4.22	13496. 86	0	0	1335 8.8	1
poly(depth, 2) poly(depth, 2)	6	2689 3.18	13655. 82	0	0	1344 0.4	1
poly(depth, 2) poly(Diameter) + depth	6	2690 4.24	13666. 89	0	0	1344 6	1
poly(Diameter, 2) + depth poly(Diameter, 2) + depth	8	2691 4.29	13676. 93	0	0	1344 8.8	1
poly(Diameter, 2) + poly(Diameter, 2) poly(Diameter, 2)	6	2728 9.2	14051. 85	0	0	1363 8.4	1
poly(Diameter, 2) poly(Diameter, 2)	6	2728 9.2	14051. 85	0	0	1363 8.4	1
poly(Diameter, 2) poly(Diameter, 2) + depth	7	2729 0.23	14052. 88	0	0	1363 7.9	1
poly(Diameter, 2) poly(Diameter)	5	2729 1.49	14054. 14	0	0	1364 0.6	1
log(Diameter, 2) + depth log(Diameter)	5	2773 6.76	14499. 4	0	0	1386 3.3	1
depth depth	4	2889 4.22	15656. 87	0	0	1444 3	1
Diameter Diameter	4	2919 7.6	15960. 24	0	0	1459 4.7	1