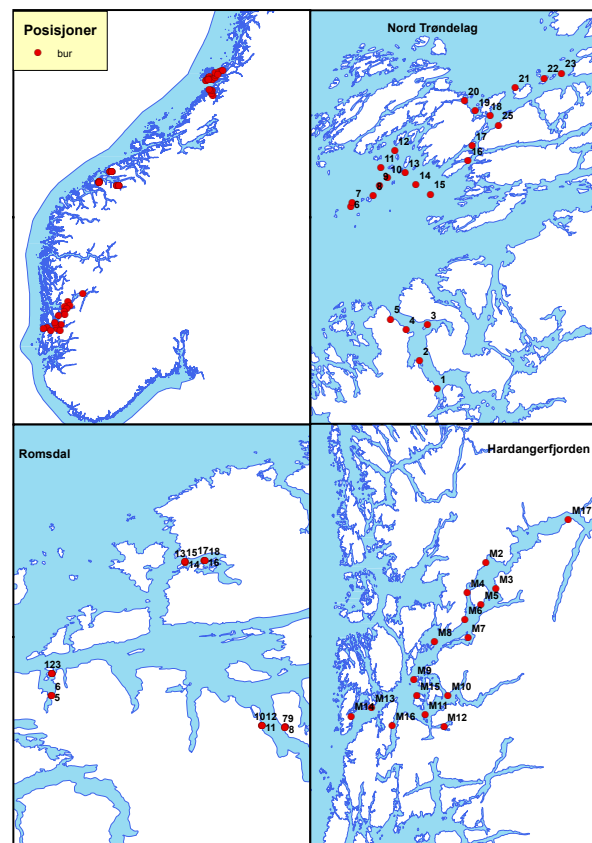


Havforskningsinstituttets spredningmodell for kopepoditter validert mot burdata fra 2014



Notatnr
Forfatter

SAMBA/15/16
Magne Aldrin

Dato

26. april 2016

Forfatteren

Magne Aldrin er ansatt ved Norsk Regnesentral

Norsk Regnesentral

Norsk Regnesentral (NR) er en privat, uavhengig stiftelse som utfører oppdragsforskning for bedrifter og det offentlige i det norske og internasjonale markedet. NR ble etablert i 1952 og har kontorer i Kristen Nygaards hus ved Universitetet i Oslo. NR er et av Europas største miljøer innen anvendt statistisk-matematisk modellering og har et senter for forskningsdrevet innovasjon, Big Insight, med finansiering fra Norges forskningsråd, bedrifter og offentlige partnere. Innen statistikk jobbes det med et bredt spekter av problemstillinger, for eksempel finansiell risiko, jordobservasjon, estimering av fiskebestander, helse og beskrivelse av geologien i petroleumsreservoarer. NR er ledende i Norge innen utvalgte deler av informasjons- og kommunikasjonsteknologi. Innen IKT-området har NR innsatsområdene e-inkludering, informasjonssikkerhet og smarte informasjonssystemer.

NRs visjon er forskningsresultater som brukes og synes.

Tittel **Havforskningsinstituttets
spredningmodell for kopepoditter validert
mot burdata fra 2014**

Forfatter **Magne Aldrin** <magne.aldrin@nr.no>

Dato 26. april 2016

Publikasjonsnummer SAMBA/15/16

Sammendrag

Havforskningsinstituttets (HI) modell for kopepodittetthet er basert på lusetellinger fra oppdrettsanlegg og en hydrodynamisk modell kombinert med en modell for lakselusbiologi. I dette notatet valideres modellens prediksjonsegenskaper ved å undersøke i hvilken grad beregnede tettheter av kopepoditter i gitte posisjoner og på gitte tidspunkt kan forklare forekomster av lus i bur i ulike posisjoner og på ulike tidspunkt i 2014. Modellens prediksjoner sammenlignes videre med prediksjoner basert på kun (sjø)temperatur og salinitet, samt med kopepodittberegninger fra en modell Veterinærinstituttet (VI) har utviklet og som er basert på sjøavstander fra oppdrettsanlegg, samt lusebiologi og lusetellinger. Arbeidet er utført som en del av et større prosjekt initiert av Havforskningsinstituttet med en rekke samarbeidende institusjoner, oppsummert i rapporten "Kunnskapsstatus som grunnlag for kapasitetsjustering innen produksjons-områder basert på lakselus som indikator" (Redaktører: Karlsen et al., 2016).

Emneord

Målgruppe

Tilgjengelighet Åpen

Prosjekt Smittemodell for lakselus på villfisk

Prosjektnummer 220762

Satsningsområde Klima, miljø, marin og helse

Antall sider 27

© Copyright Norsk Regnesentral

Innhold

1	Utvidet sammendrag	5
2	Innledning	9
3	Data	9
4	Valideringsmetodikk.	18
5	Valideringsresultater	21
	Referanser	27

1 Utvidet sammendrag

Havforskningsinstituttets (HI) modell for kopepodittetthet er basert på lusetelling fra oppdrettsanlegg og en hydrodynamisk modell kombinert med en modell for lakselusbiologi. I dette notatet valideres modellens prediksjonsegenskaper ved å undersøke i hvilken grad beregnede tettheter av kopepoditter i gitte posisjoner og på gitte tidspunkt kan forklare forekomster av lus i bur i ulike posisjoner og på ulike tidspunkt i 2014. Modellens prediksjoner sammenlignes videre med prediksjoner basert på kun (sjø)temperatur og salinitet, samt med kopepodittberegninger fra en modell Veterinærinstituttet) VI har utviklet og som er basert på sjøavstander fra oppdrettsanlegg, samt lusebiologi og lusetelling.

Burdataene består av 99 burforsøk i løpet av 2014 fra 57 ulike posisjoner i tre geografiske områder. Et burforsøk består av at et bur blir satt ut med lusefri fisk og at fisken står i buret mellom 15 og 31 dager med lusetelling den siste dagen. I denne studien vil jeg kun bruke lakselus på fisk summert over alle stadier som respons.

For de samme posisjonene har HI ved hjelp av sin modell beregnet daglig kopepodittetthet i sjøen båren og sommeren 2014. HIs modell angir også modellberegnete daglige verdier av temperatur og salinitet i disse posisjonene.

Valideringsmetodikk HIs modell angir kopepodittetthet per døgn, mens burdataene består av lusetelling på en bestemt dato. Det gjelder å sammenholde disse to datatypene på en god måte, og mitt forslag er som følger: For å unngå å måtte anta noe om utviklingstider fra et stadie til et annet kan en basere seg på lus på fisken summert over alle stadier. Anta videre at en liten, fast andel av kopepodittene i sjøen finner en vertsfisk hvert døgn. Denne andelen trengs ikke tallfestes. Anta deretter at lusa lever videre på fisken med en fast dødelighet (denne må tallfestes). Dermed kan en, på en proporsjonalitetskonstant nær, beregne hvor mange lus per fisk en kan forvente å finne ved slutten av burforsøket, ved å summere påslag av nye lus og trekke fra døde lus per døgn. Merk at denne måten å gjøre det på tar hensyn til hvor lenge buret har stått i sjøen med fisk som er mottakelig for lusepåslag og kopepodittettheten i samme periode. For HIs modell ga det best tilpasning å anta 0 dødelighet, og jeg har derfor brukt det for modeller basert på kopepodittettheter fra HIs modell. Dette tilsvarer å summere kopepodittetthet over alle dagene et burforsøk varer, og jeg bruker betegnelsen "sum kopepoditter" for dette. For beregninger basert på VIs modell har jeg antatt en dødelighet på 5 %.

Deretter er observert antall lus sammenlignet med det en kan forvente å finne ut fra kopepodittetthetene gitt av HIs (eller VIs) lusemodell. Det er utført regre-

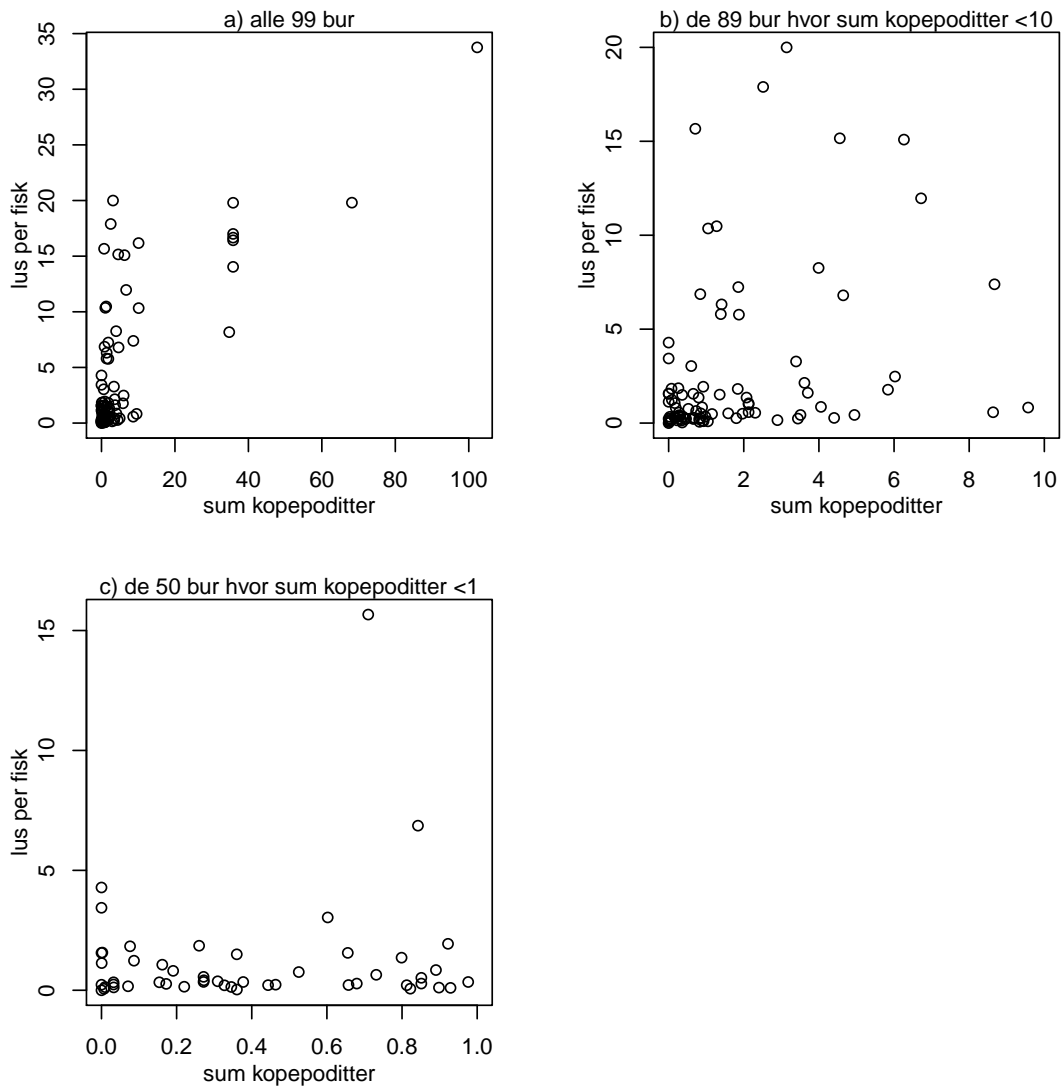
sjonanalyser hvor antall lus på fisken i burforsøkene er respons og antall lus en kan forvente å finne er forklaringsvariabel. I tillegg er gjennomsnittstemperatur og gjennomsnittsalinitet for hvert burforsøk brukt som forklaringsvariable.

Resultater

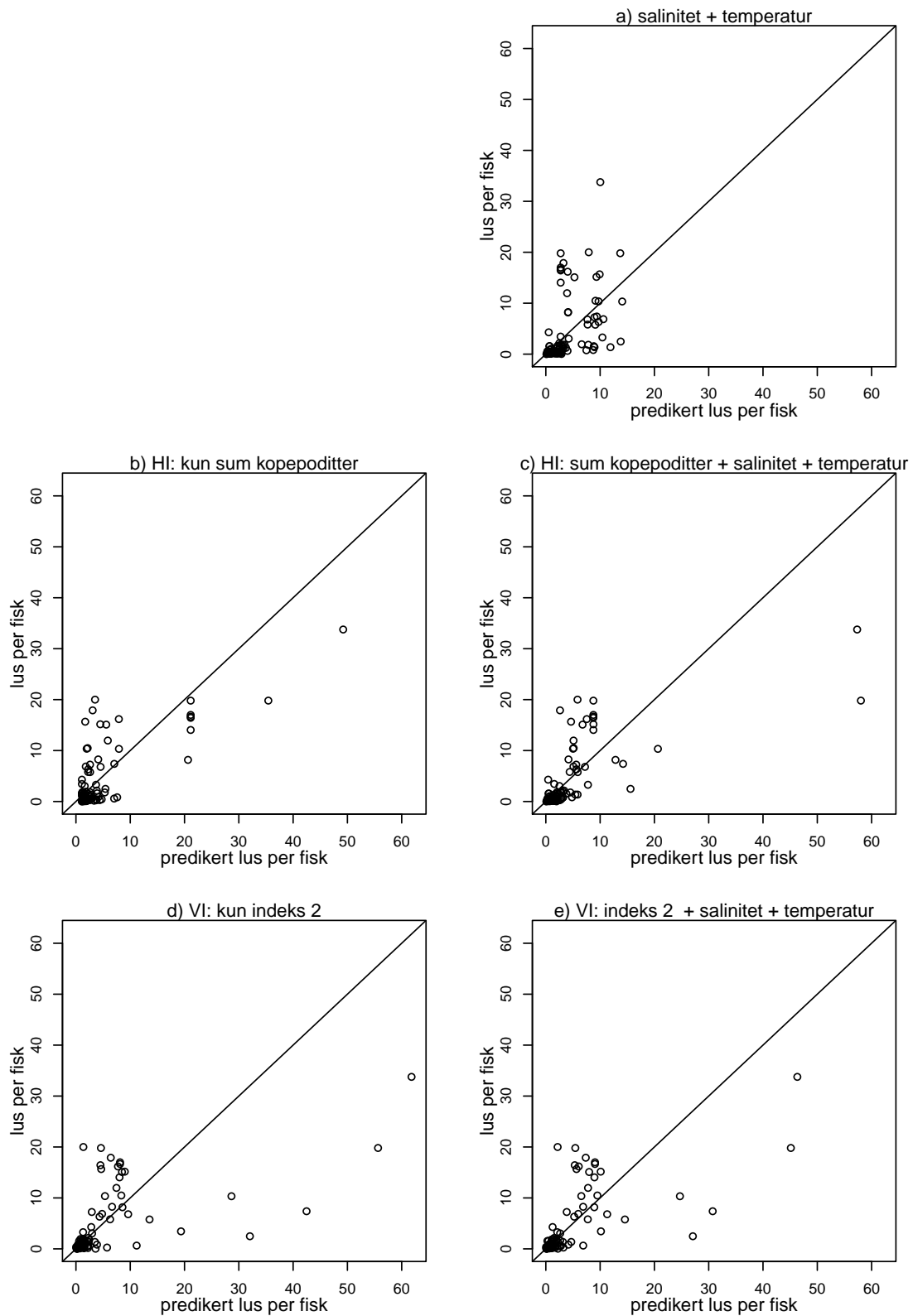
HI's modell viste en viss prediksjonsevne, i den forstand at i de tilfellene modellen predikerte svært høy kopepodtettethet var det relativt høye lusenivåer på fisken i alle tilfeller, så det synes som om modellen fungerer brukart i slike situasjoner (panel a) i Figur 1). HI-modellen er imidlertid atskillig mindre treffsikker i situasjoner hvor den den predikerer veldig lave kopepodtettetheter. I slike tilfeller var det både en del lave, men også en del ganske høye, verdier av de tilhørende observerte luseabundanser. Dette illustreres i panel b) i Figur 1 hvor det fokuseres på de 89 bur som har "sum kopepoditter" mindre enn 10 og i panel c) hvor det fokuseres på de 50 bur som har "sum kopepoditter" mindre enn 1. I panel a) med alle bur er korrelasjonen 0.74, noe som tilsvarer en forklaringsgrad (R^2) på $0.74^2=55$, mens korrelasjonen i panel b) er 0.32 ($R^2=0.10$) og i panel c) 0.14 ($R^2=0.02$).

Regresjonsmodeller basert på kun kopepodittberegninger fra HI's lusemodell tilsvarende en viss prediksjonsevne, men ikke mer enn en regresjonsmodell som kun tok i bruk temperatur og salinitet. Ved å kombinere disse tre forklaringsvariable økte forklaringsgraden, og både økende salinitet og økende temperatur tenderte til å gi høyere luseabundans. Dette tyder på at det er et potensiale for å forbedre HI's modell ved å modellere bedre effekten av temperatur og salinitet.

Figur 2 viser observert luseabundans for hvert bur mot tilhørende predikerte verdier fra regresjonsmodeller basert på ulike kombinasjoner av forklaringsvariable. En ser at regresjonsmodellen som kun tar i bruk HI's lusemodell (panel b) har en brukbar treffsikkerhet når prediksjonene er høye, men for prediksjoner veldig nær 0 forekommer det noen observasjoner med ganske høy luseabundans. Regresjonsmodeller basert på VI's lusemodell hadde gjennomgående noe bedre forklaringsgrad (R^2) enn regresjonsmodeller basert på HI's lusemodell. Det skyldes trolig at VI's modell er bedre til å modellere lave og midlere lusenivåer for disse dataene. HI's modell har derfor et forbedringspotensiale i noen av situasjonene hvor den predikerer lav kopepodtettethet.



Figur 1. Spredningsplott av antall lus per fisk (i gjennomsnitt over alle fisk i hvert bur) mot sum kopepoditter fra HIs modell, for a) alle 99 bur, b) de 89 bur med sum kopepoditter mindre enn 10 og c) de 50 bur med sum kopepoditter mindre enn 1.



Figur 2. Spredningsplott av antall lus per fisk (i gjennomsnitt over alle fisk i hvert bur) mot predikerte verdier fra regresjonsmodeller med ulike forklaringsvariable. Forklaringsvariablene som er med er: a) temperatur og salinitet, b) forventa lus per fisk fra HIs modell, c) forventa lus per fisk fra HIs modell kombinert med temperatur og salinitet, d) forventa lus per fisk fra VIs modell og e) forventa lus per fisk fra VIs modell kombinert med temperatur og salinitet. Den heltrukne linja angir 1-1 sammenheng mellom predikert og observert verdi.

2 Innledning

Havforskningsinstituttet (HI) har utviklet en modell for hvordan lakseluslarver spres i sjøen fra oppdrettsanlegg (Johnsen et al., 2014). Modellen er basert på en hydrodynamisk modell og lakselusbiologi inkludert antakelser om produksjon av larver per hunnlus, om levetid i ulike stadier og om hvordan lakseluslarver beveger i vannet. Dette kobles sammen med data fra Havbruksregisteret med informasjon om registrerte voksne hunnlus per fisk og om antall fisk på de enkelte oppdrettsanlegg.

Nærings- og fiskeridepartementet ønsker å bruke denne modellen som grunnlag for et såkalt trafikklyssystem som predikerer risiko for uakseptable lusepåslag for villfisk, jfr. skriv fra departementet datert 2/7 2015. Departementet nevner samtidig at en modell utviklet av Veterinærinstituttet (VI) kan tjene som en komplementær modell (Kristoffersen et al., 2014).

Hensikten med dette notatet er å validere modellens prediksjonsegenskaper. Det gjøres ved å undersøke i hvilken grad beregnede tettheter av kopepoditter i gitte posisjoner og på gitte tidspunkt kan forklare forekomster av lus i bur i ulike posisjoner og på ulike tidspunkt i 2014. Modellens prediksjoner sammenlignes videre med prediksjoner basert på kun temperatur og salinitet og med VIs modell.

3 Data

Burdataene består av 99 burforsøk i løpet av 2014 fra 57 ulike posisjoner i Nord-Trøndelag, Romsdal og Hardangerfjorden. Det er gjennomført mellom ett og fire forsøk per bur i ulike perioder. Et burforsøk består av at et bur blir satt ut med lusefri fisk og at fisken står i buret mellom 15 og 31 dager med lusetelling den siste dagen. Første start på et burforsøk er 8. mai og siste dag for et forsøk er 2. september. Lusene er klassifisert som kopepoditter (på fisken), chalimus, preadulte og adulte hunner og hanner, tildels også i enda finere inndeling. I all hovedsak vil jeg konsentrere meg om lus summert over alle disse stadiene, og det er kun lakselus som tas med, så skottelus ignoreres.

For de samme posisjonene har HI ved hjelp av sin modell beregnet daglig kopepodittetthet i sjøen fra og med 1. april. til og med 28. august. De aller første dagene er en initieringsfase, men denne fasen er over innen starten på første burforsøk. Imidlertid slutter kopepodittberegningene fem dager før avslutning av siste burforsøk. For hver posisjon har jeg derfor imputert de manglende kopepodittverdiene fram til 2. september med gjennomsnittet av de siste sju dagene HIs

modell beregner i utgangspunktet kopepodittverdiene i grid på 800x800 m. Beregningene som brukes her er midlet i 5x5 grid (ekskudert de som dekker land) omkring det gjeldene grid, altså i 4x4 km ruter. Kopepodittettheten fra HIs er her gitt som antall per m², og er dybdeintegrrert over vannsøylen.

For fire burforsøk, alle i posisjon M12 i Etnefjorden ga HIs modell 0 kopepoditter hver eneste dag fra 1. april til 28. august. På forespørsel fra meg har Anne Sandvik opplyst at en ikke kan forvente at modellen skal gi gode resultater her, fordi det var for trangt for en modellell med 800x800 m oppløsning. En god del av analysene som presenteres seinere er gjentatt uten å bruke data fra disse fire burforsøkene, men det endret ikke resultatene nevneverdig, så disse tilleggsanalysene er ikke rapportert her.

HIs modell beregner også daglig temperatur og salinitet i de samme posisjonene. Jeg har fått slike data til og med 31. august, og har derfor igjen imputert disse for 1. og 2. september med gjennomsnittet av de siste sju dagene.

Det siste dataene som brukes her er basert på VIs modell. VIs modell går ut på å beregne luseproduksjon per dag fra hvert enkelt anlegg, for så å interpolere disse til mellomliggende punkter basert på sjøavstander til hvert enkelt anlegg. Dette kan gjøres for ulike stadier, og det antas da en daglig dødelighet på 0.17 i nauplii- og kopepodittstadiene og 0.05 i de påfølgende stadiene. Produksjonen av lus kan gjøres per stadie med antakelser om antall døgngader som trengs for utvikling fra ett stadie til et annet. Jeg beregner en indeks for kopepodittetthet fra VIs modell på følgende måte: Daglig produksjon av kopepoditter beregnes fra VIs modell og interpoleres til en burposisjon. Deretter beregnes daglig mengde kopepoditter i sjøen ved å anta en dødelighet på 0.17 og legge til daglig produksjon av nye kopepoditter. Dette en relativ indeks som ikke har noen enhet, dvs. det sier ingen ting om mengde kopepoditter per et visst areal eller volum.

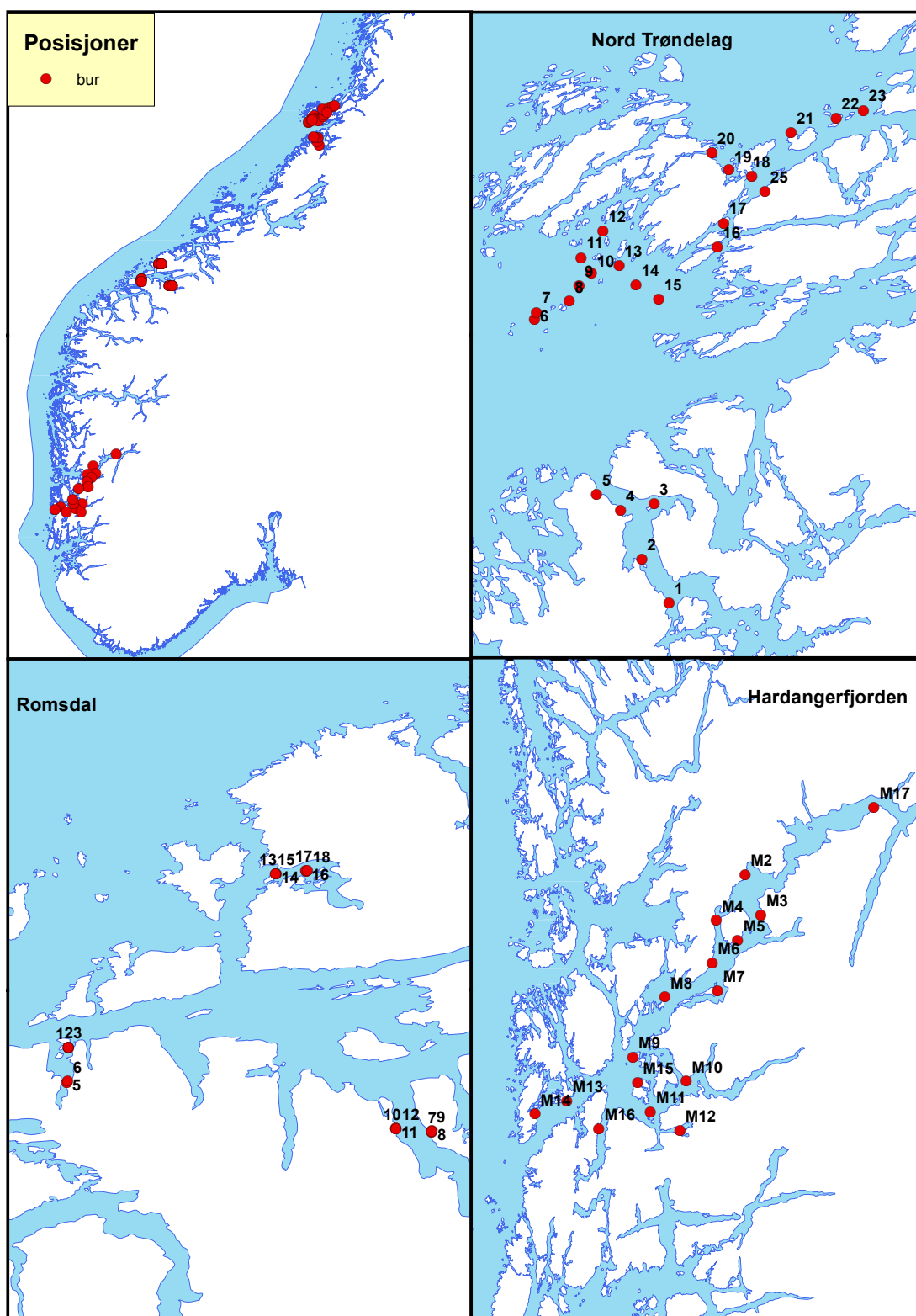
I VIs modell slik den er beskrevet i Kristoffersen et al. (2014) starter modellen med produksjon av nauplier fra voksne hunnlus på de enkelte anlegg og antar at det tar 35 døgngader før utvikling til infektive kopepoditter. Det gir opphav til en indeks for kopepodittetthet som jeg betegner indeks 1. Denne varianten av modellen tar imidlertid ikke hensyn til tida det tar å klekke eggene. Basert på resultater i Stien et al. (2005) antar jeg at klekkinga tar 90 døgngader. Jeg benytter derfor i tillegg en variant av modellen hvor det tar (90+35=125) døgngader fram til kopepoditter. Det gir en alternativ indeks for lusetetthet som jeg betegner indeks 2. Det gir en viss tidsforskyvning og kopepodittallene blir da relatert til noe eldre lusetellinger enn for indeks 1.

Figur 3 viser posisjonene til burene. Figur 4 viser histogrammer for antall fisk per bur og for gjennomsnittlig antall lus (totalt over alle stadier) per fisk per bur.

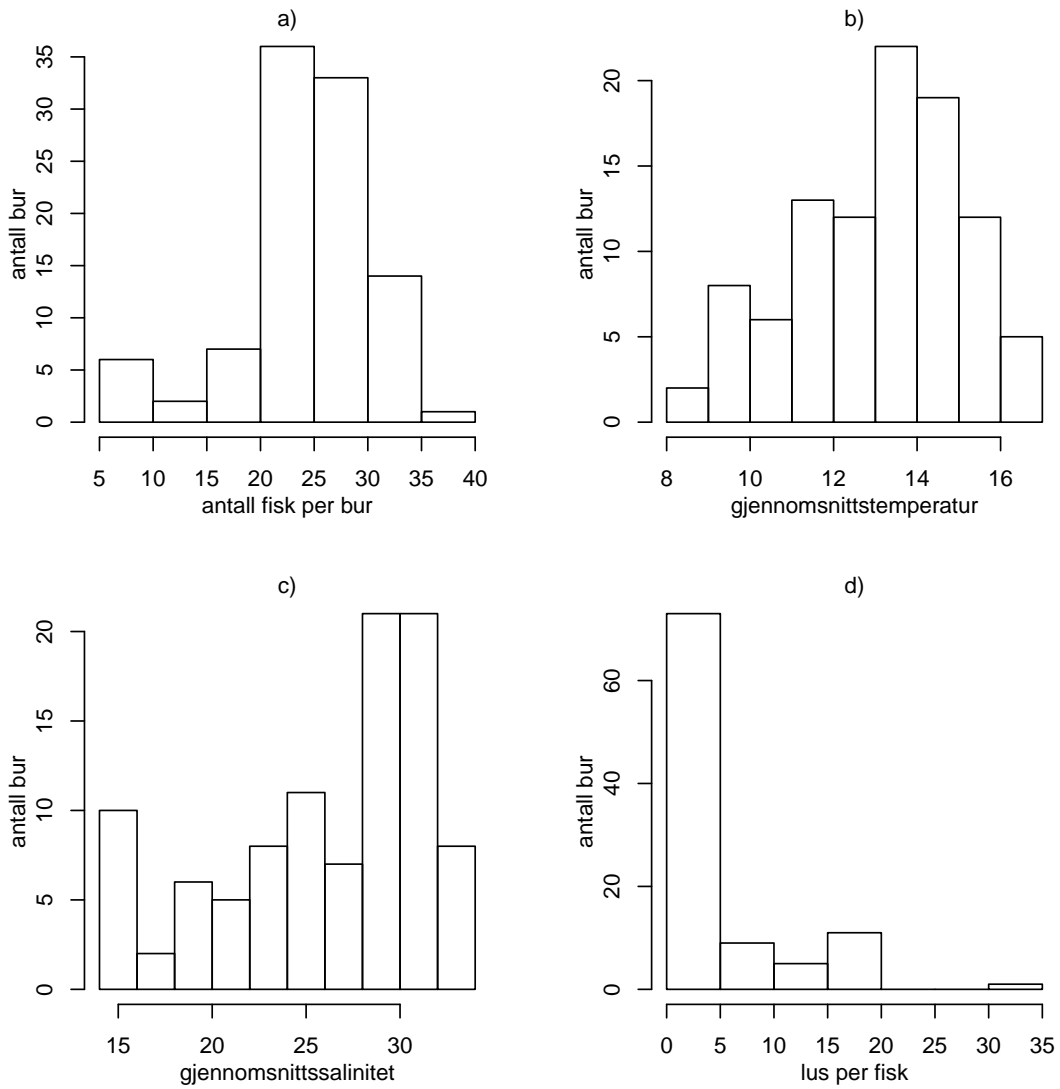
Figur 5 viser tidsplokk av kopepodittetthet beregnet ved HIs modell og VIs modell (beregningvariant 1) for fire burforsøk i den perioden burforsøkene varte.

Figur 6 viser gjennomsnittlig antall lus i ulike stadiet per burforsøk mot varighet av burforsøket. Det er naturlig nok en viss tendens til at antall lus øker jo lenger fisken har stått i sjøen. Figur 7 viser et tilsvarende plott, men mot døgngradet. Det er interessant å se at hunnlus overhodet ikke forekommer før etter noe over 200 døgngrader. For andre studier vil inndeling i stadier kunne være av stor viktighet, men fra og med nå vil jeg likevel kun studere antall lus summert over alle stadiene hvor den er på fisken. Grunnen til det er at en da ikke trenger anta noe om utviklingshastigheter fra ett stadie til neste fra og med kopepodittstadiet.

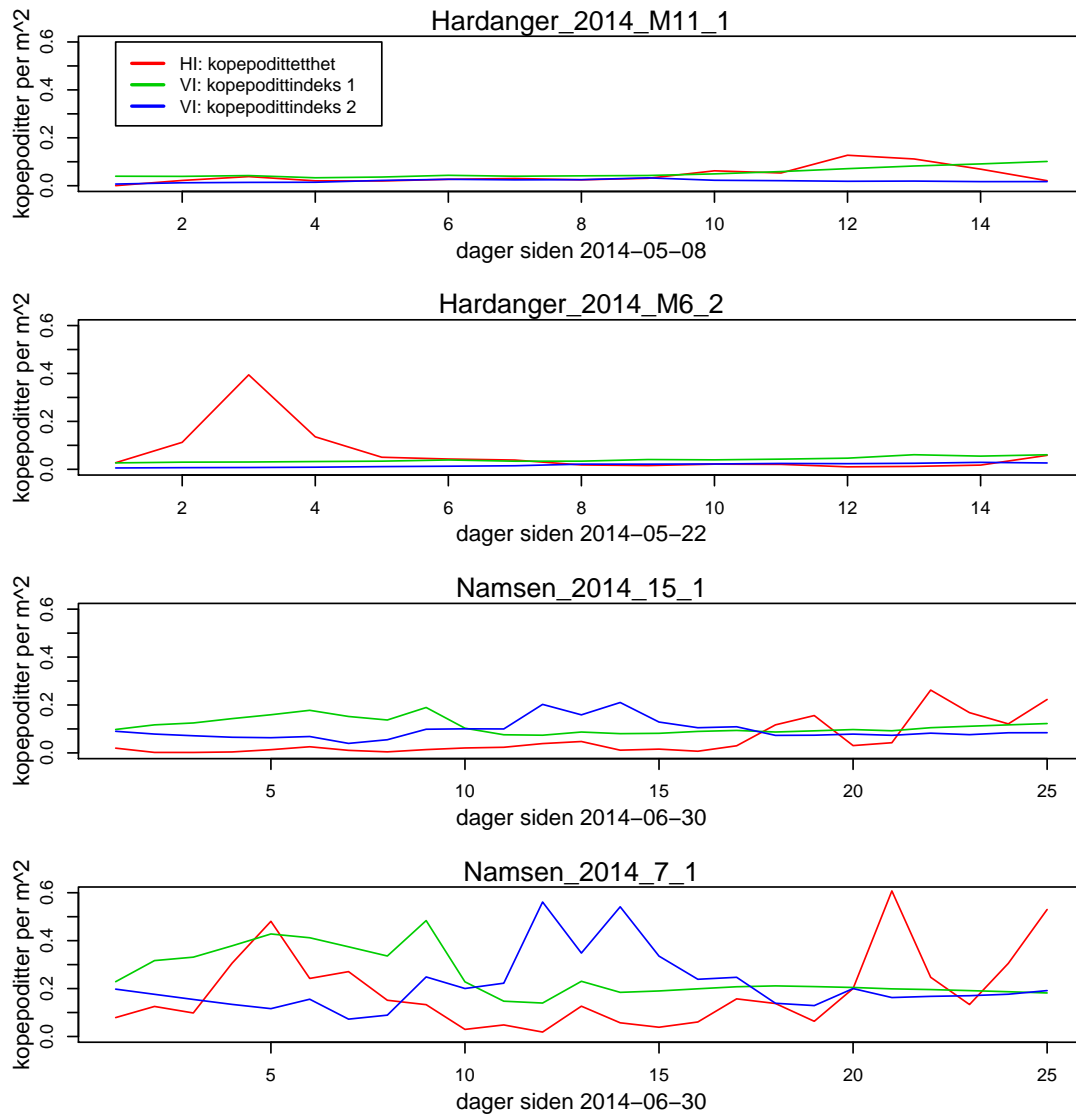
Antall lus fordelt per fisk er svært skeivt fordelt, hvor det for mange bur er ganske lave tall og for noen bur ganske høye. Videre har noen bur 0 null. I noen figurer og analyser tar vi derfor utgangspunkt i $\log(\text{lus per fisk} + 1)$, hvor "log" angir den naturlige algoritme, "lus per fisk" angir lus per fisk i gjennomsnitt over alle fisk i buret og konstanten 1 er lagt til for ikke å ta logaritmen av 0. Figur 8 viser $\log(\text{lus per fisk} + 1)$ mot $\log(\text{varighet av burforsøkene})$, temperatur og salinitet. Det er tendens til positive sammenhenger med alle disse tre variablene.



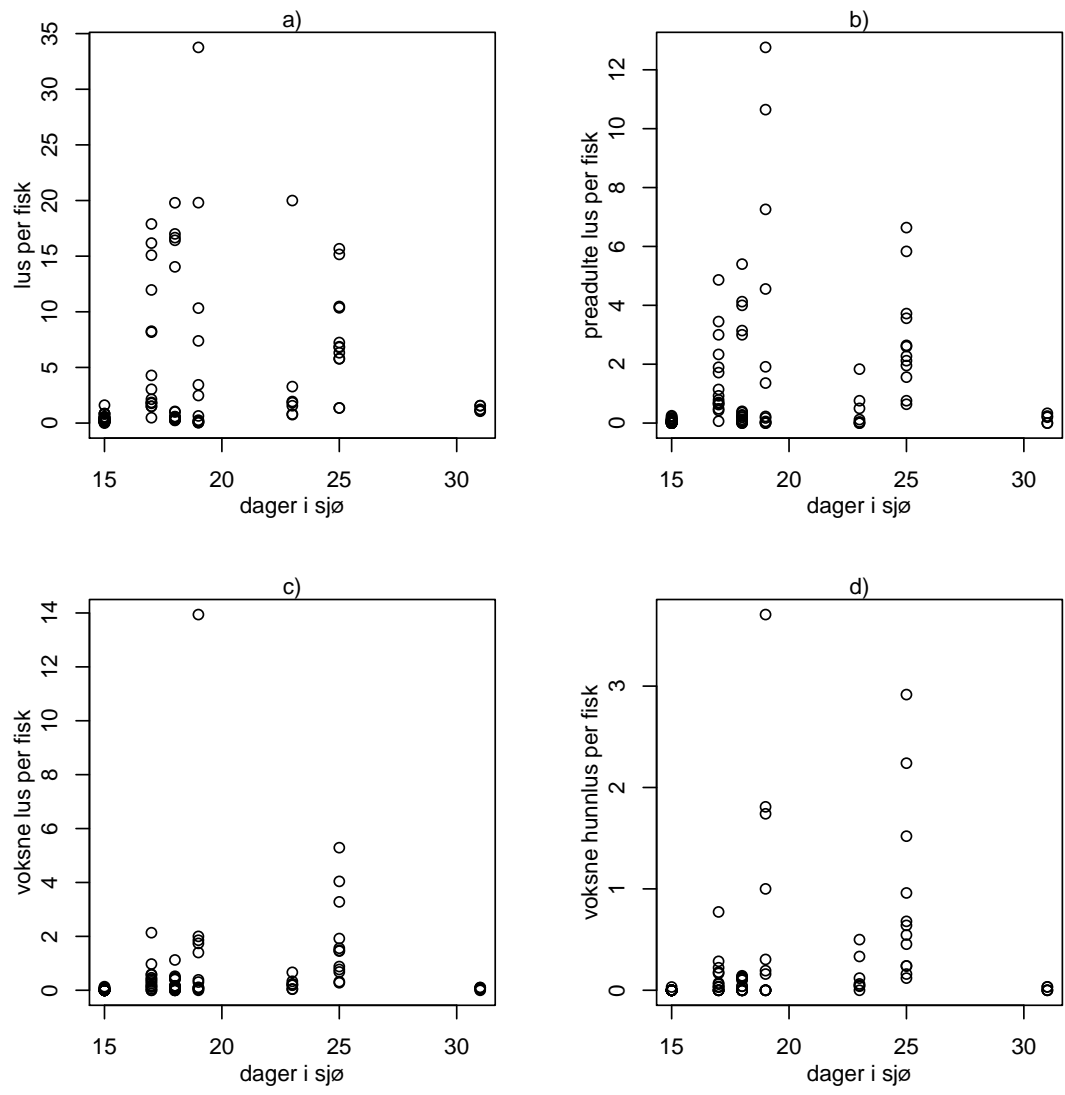
Figur 3. Burposisjoner.



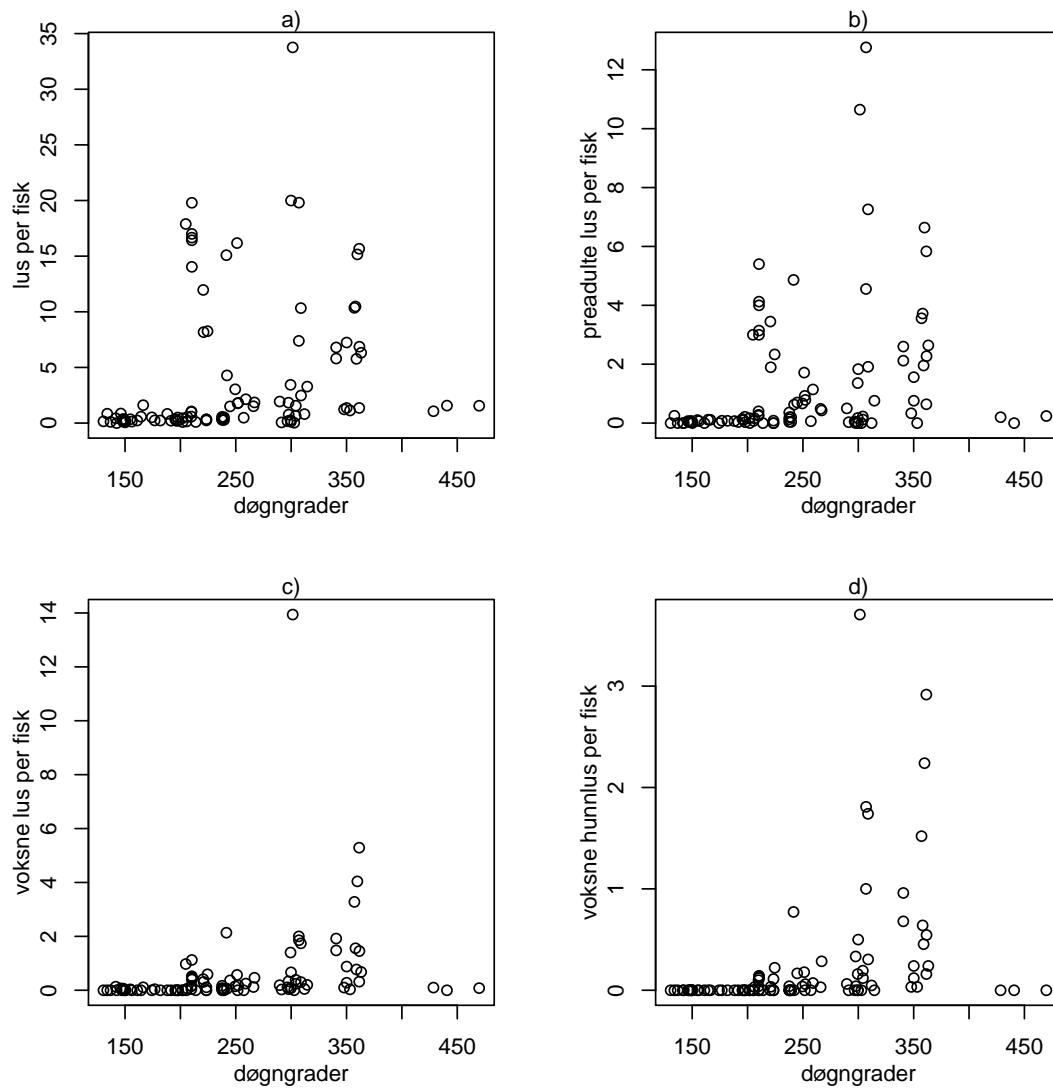
Figur 4. Histogrammer for a) antall fisk per bur, b) gjennomsnittstemperatur per bur, c) gjennomsnittssalinitet per bur og d) lus (i alle stadier) per fisk per bur



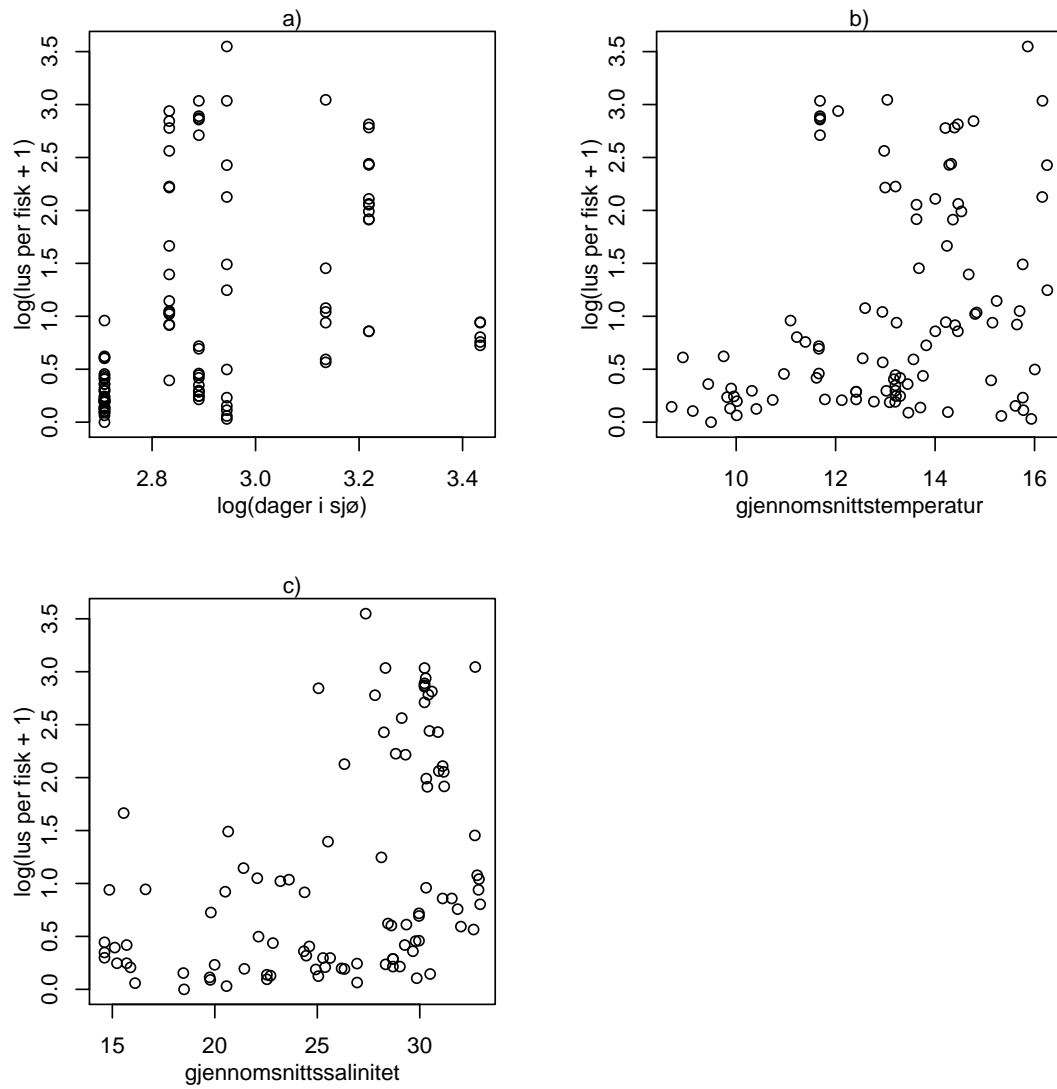
Figur 5. Tidsplott for fire lokaliteter av kopepodittetthet fra henholdvis HIs og VIs modeller. Kopepodittetthetene fra HIs modell er angitt i antall per m² mens tetthetene fra VIs modell er ubenevnte indekser. Kodene som er brukt i overskriften er en unik sammensatt kode av område/år/burid/periode.



Figur 6. Spredningsplott av antall lus per fisk (i gjennomsnitt over alle fisk i hvert bur) mot antall dager buret var i sjø, for a) lus i alle stadier (chalimus, preadulte og voksne), b) preadulte lus, c) voksne lus og d) voksne hunnlus.



Figur 7. Spredningsplott av antall lus per fisk (i gjennomsnitt over alle fisk i hvert bur) mot antall døgngrader buret har vært i sjøen, for a) lus i alle stadier (chalimus, preadulte og voksne), b) preadulte lus, c) voksne lus og d) voksne hunnlus.



Figur 8. Spredningsplott av $\log(\text{lus per fisk} + 1)$ mot a) $\log(\text{antall dager burene har vært i sjøen})$, b) $\text{gjennomsnittstemperatur}$ og c) $\text{gjennomsnittssalinitet}$.

4 Valideringsmetodikk

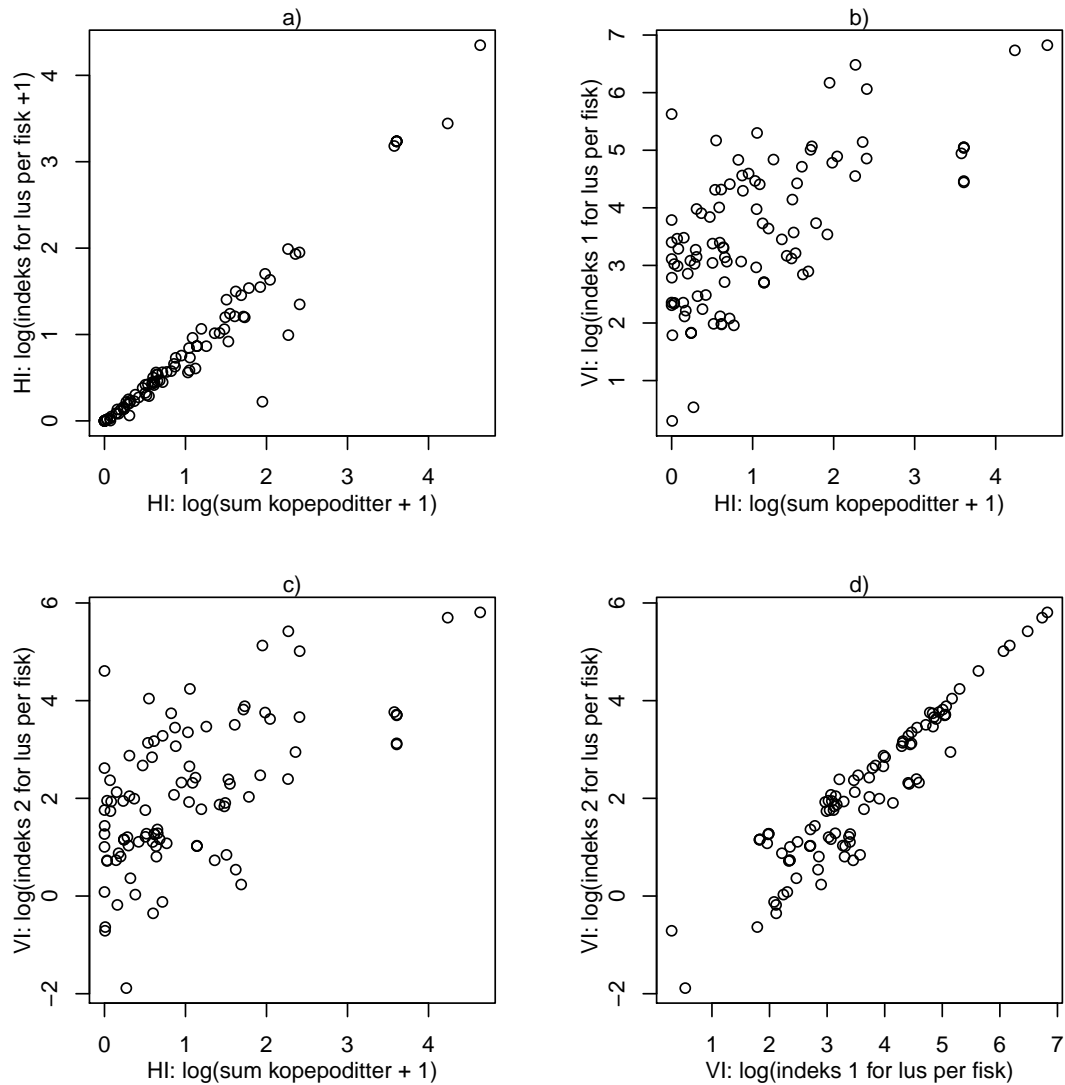
I validering av HIs kopepodittmodell skal estimert daglig kopepodittetthet i hele perioden sammenholdes mot antall lus per fisk (summert over alle stadiene hvor den er på fisken) siste dag i forsøket. Det er da naturlig å tenke seg at en viss, liten og ukjent andel av kopepodittene i sjøen finner en vertsfisk, og at lusa videre utvikle seg med en viss dødelighet. Ved å anta at andelen av kopepodittene som finner en vertsfisk er fast, kan en på en proporsjonalitetskontant nær beregne hvor mange lus per fisk en kan forvente å finne ved slutten av burforsøket, ved å summere påslag av nye lus og trekke fra døde lus per døgn. Jeg vil betegne dette med “indeks for lus per fisk” fra HIs modell. Hvis vi regner null dødelighet tilsvarer det (en viss andel av) summen av kopepoditter over burperioden, som jeg betegner “sum kopepoditter” fra HIs modell. Disse to størrelsene er ganske like (panel a) i Figur 9), men det viser seg at sum kopepoditter gir noe høyere forklaringskraft i modellene jeg vil anvende seinere, så fra og med nå vil jeg kun benytte sum kopepoditter for HIs modell.

På samme måte som for HIs modell beregner jeg “indeks 1 for lus per fisk” og “indeks 2 for lus per fisk” for VIs modell, som altså tar utgangspunkt i indeks 1 og indeks 2 for kopepodittetthet.

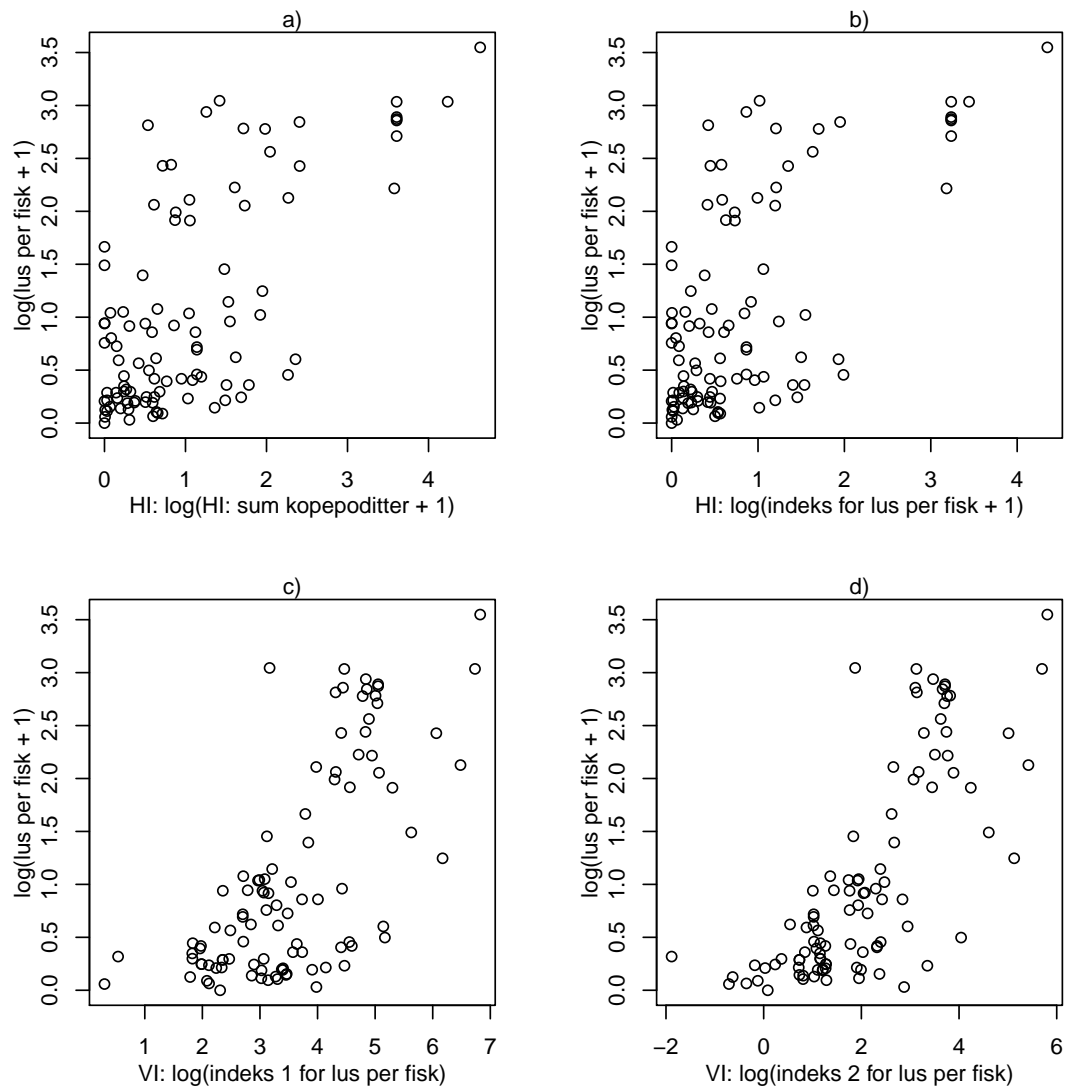
Figur 9 viser spredningsplott av de ulike luseprediktorene mot hverandre. Figur 10 viser $\log(\text{lus per fisk} + 1)$ mot hver enkelt av luseprediktorene.

I det følgende vil jeg gjøre to serier av regresjonsanalyser. I den ene er $\log(\text{lus per fisk} + 1)$ responsvariabel, og variasjon i denne forsøkes forklart ved vanlig lineær regresjon med ulike forklaringsvariable, deriblant temperatur, salinitet og log-transformerte luseprediktorer. Prediksjonsevnen til hver modell oppsummeres som justert R^2 , dvs. forklart varians justert for antall estimerte parametre. Her er altså lus per fisk beregna som gjennomsnitt over alle fisk i et burforsøk. Siden antall fisk varierer fra burforsøk til burforsøk, så vektet hver observasjon med antall fisk i burforsøket når modellen estimeres.

Regresjonanalysen over har den fordel at den benytter seg av lineær regresjon og en definisjon av R^2 som er velkjent for de fleste. Den har imidlertid flere svakheter, blant annet at konstanten 1 som legges til er noe vilkårlig og vanskeliggjør fortolkninga av modellen og at forventa antall lus er en komplisert funksjon av forklaringsvariablene. Derfor gjør jeg i tillegg en analyse hvor antall lus på hver enkelt fisk antas å være negativt binomialfordelt. Det tas da hensyn til at antall lus er en tellevariabel som kun kan anta heltallige, ikke-negative verdier, og den tillater også såkalt overdispersjon og er derfor mer fleksibel enn Poissonregresjon. Jeg antar videre at logaritmen til forventa antall lus per fisk er en lineær sum av



Figur 9. Spredningsplott for a) log (indeks for lus per fisk + 1) fra HIs modell mot log(sum kopepoditter + 1) fra HIs modell, b) log(indeks 1 for lus per fisk) fra VIs modell mot log(indeks for lus per fisk + 1) fra HIs modell, c) log (indeks 2 for lus per fisk + 1) fra VIs modell mot log(sum kopepoditter + 1) fra HIs modell og d) log(indeks 2 for lus per fisk) fra VIs modell mot log (indeks 1 for lus per fisk) fra VIs modell.



Figur 10. Spredningsplott av $\log(\text{lus per fisk} + 1)$ mot a) $\log(\text{sum kopepoditter} + 1)$ fra HIs modell, b) $\log(\text{indeks for lus per fisk} + 1)$ fra HIs modell, c) $\log(\text{indeks 2 for lus per fisk})$ fra VIs modell og d) $\log(\text{indeks 2 for lus per fisk})$ fra VIs modell.

forklaringsvariable (altså såkalt logaritmisk link), noe som betyr forventa antall lus per fisk er en funksjon av forklaringsvariablene på multiplikativ form. For disse modellene rapporteres R^2 som forklart devians, dvs. hvor mye av deviansen (eller log-likelihood) forklares i forhold til en modell med perfekt tilpasning. Noen utvalgte modeller vil bli presentert i mer detalj.

Det er hensiktsmessig å bruke R^2 som er godhetsmål for sammenlikning mellom de ulike modeller så lenge responsen er den samme, men de kan ikke sammenlignes på tvers av de to analysemetodene som er brukt her. Det også verdt å merke seg at det er umulig å oppnå en R^2 nær 1, fordi det er en stor tilfeldig naturlig variasjon så lenge det er et lite antall fisk i hvert burforsøk.

5 Valideringsresultater

Jeg estimerer modeller med følgende kombinasjoner av forklaringvariable, og for hver kombinasjon estimeres én modell med lineær regresjon og en annen med negativ binomial regresjon:

- temperatur og salinitet
- $\log(\text{sum kopepoditter} + 1)$ fra HIs modell
- $\log(\text{sum kopepoditter} + 1)$ fra HIs modell i kombinasjon salinitet
- $\log(\text{sum kopepoditter} + 1)$ fra HIs modell i kombinasjon med temperatur og salinitet
- $\log(\text{indeks 1 for lus per fisk})$ fra VIs modell
- $\log(\text{indeks 1 for lus per fisk})$ fra VIs modell i kombinasjon salinitet
- $\log(\text{indeks 1 for lus per fisk})$ fra VIs modell i kombinasjon med temperatur og salinitet
- $\log(\text{indeks 2 for lus per fisk})$ fra VIs modell
- $\log(\text{indeks 2 for lus per fisk})$ fra VIs modell i kombinasjon salinitet
- $\log(\text{indeks 2 for lus per fisk})$ fra VIs modell i kombinasjon med temperatur og salinitet

Forklaringsgrad R^2 for hver modell er angitt i Tabell 1. Alle modeller har en viss forklaringskraft eller prediktiv evne. Under vises også sammendrag av et utvalg av modellene som er estimert ved negativ binomial regresjon.

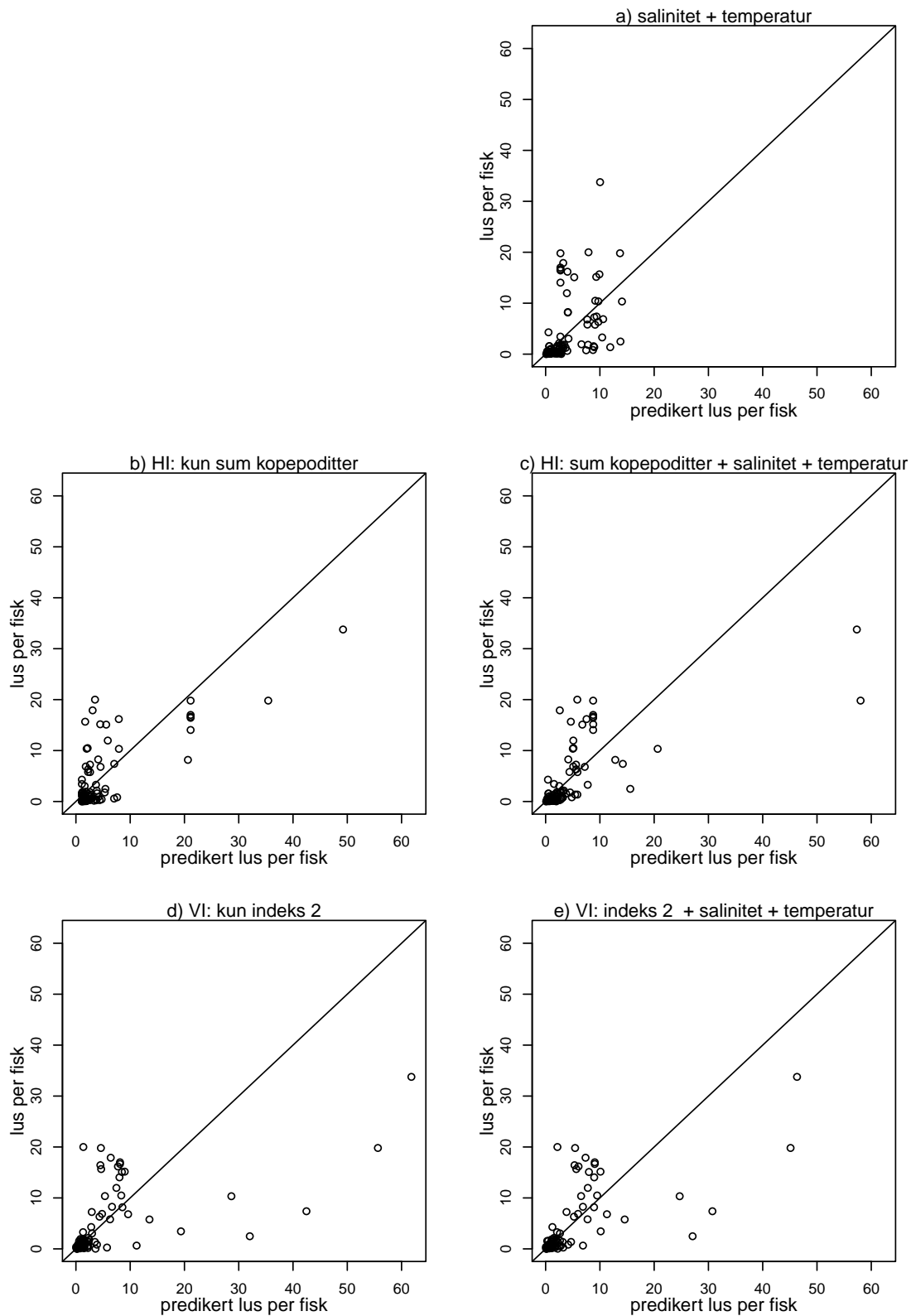
Modeller med temperatur og salinitet aleine har noe høyere R^2 enn modeller kun basert på kopepodittberegninger HIs modell. Om disse tre variable kombineres økes forklaringsgraden. Effektene av både temperatur og salinitet er signifikante og positive (se under). Ut fra dette kan det virke som om HIs modell kan forbedres ved å håndtere salinitet og temperatur på en annen måte enn i dag. Muligens bør dødelighet i stadiene til og med kopepoditter justeres i forhold til salinitet. Alternativt kan sannsynlighet for påslag av kopepoditter på fisk være en funksjon av salinitet. Temperaturen betydning kan justeres ved å justere antakelser om utviklingshastigheter og likeledes kan sannsynlighet for påslag av kopepoditter på fisk være en funksjon av temperatur.

For modeller basert på VIs lusemodell så er de som er basert på indeks 2 entydig bedre enn de som er basert på indeks 1. Dette tyder på at en ekstra tidsforsinkelse relatert til eggklekking bør inngå VIs ordinære bruk av sin modell, i alle fall er dette noe som bør studeres nærmere. Kombinasjon med salinitet bedrer prediksjonsevnen noe, og høyere salinitet gir høyere prediksjon av lus (se modell under). Det er rimelig, siden salinitet ikke inngår i VIs lusemodell, og siden det er velkjent at lav salinitet gir mindre lus.

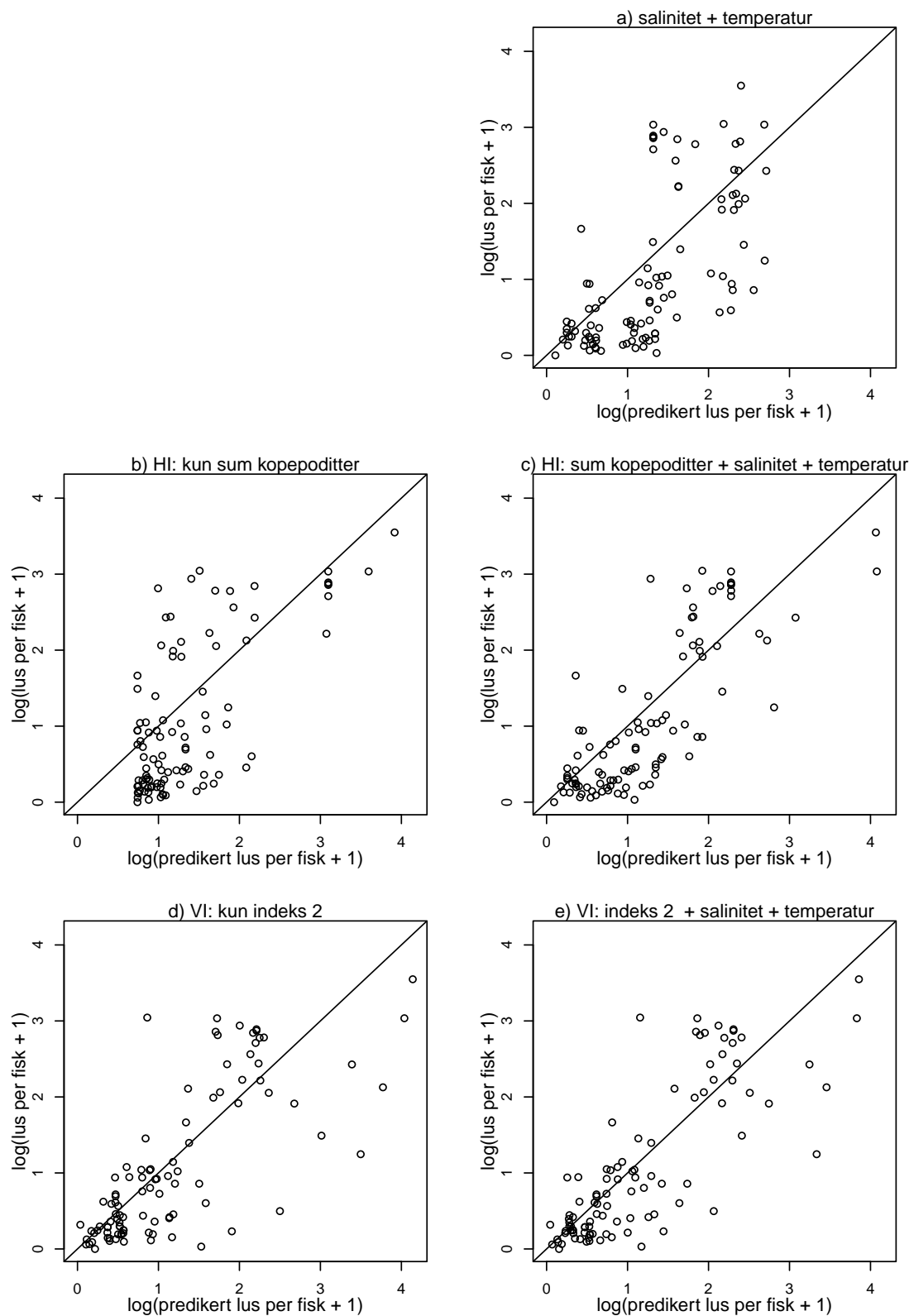
Merk forøvrig at de estimerte regresjonskoeffisientene for modellene basert på (indeks 2) er ganske nær 1 (henholdsvis 0.97 og 0.87), særlig i modellen uten temperatur og salinitet. Det betyr at den registrerte luseabundansen er nesten proporsjonal med denne indeksen. Det er derimot ikke tilfelle for modellen basert på sum kopepoditter fra HIs lusemodell (koeffisient=0.58).

Figur 11 viser gjennomsnittlig lus per fisk for hvert bur mot tilhørende prediksjoner basert på noen av modellene estimert ved negativ binomial regresjon. Figur 12 viser tilvarende for $\log(\text{lus per fisk} + 1)$. Disse figurene viser et noe annet bilde en tabell 1 når det gjelder styrkeforholdet mellom de ulike modellene, og demonstrerer igjen at alle modellene har en viss prediktiv evne.

Etter min mening ser det ut til å være et problem med HI-modellen at den ofte predikerer veldig lave kopepodittettheter, og at i noen av disse tilfellene viser det seg at det har vært en god del lus på fisken, men andre ganger er dette en riktig prediksjon. I de tilfellene HIs modell har predikert svært høy kopepodittetthet har det imidlertid vært relativt høye lusenivåer på fisken i alle tilfeller, så det synes som om modellen fungerer brukart i slike situasjoner.



Figur 11. Spredningsplott av antall lus per fisk (i gjennomsnitt over alle fisk i hvert bur) mot predikerte verdier fra modeller basert på negativ binomial regresjon med ulike forklaringsvariable. Forklaringsvariablene som er med er: a) temperatur og salinitet, b) sum kopepoditter fra HIs modell, c) sum kopepoditter fra HIs modell kombinert med temperatur og salinitet, d) indeks 2 for lus per fisk fra VIs modell og e) indeks 2 for lus per fisk fra VIs modell kombinert med temperatur og salinitet. Den heltrukne linja angir 1-1 sammenheng mellom predikert og observert verdi.



Figur 12. Spredningsplott av $\log(\text{antall lus per fisk} + 1)$ (i gjennomsnitt over alle fisk i hvert bur) mot $\log(\text{predikerte verdi} + 1)$ for modeller basert på negativ binomial regresjon med ulike forklaringsvariable. Forklaringsvariablene som er med er: a) temperatur og salinitet, b) sum kopepoditter fra HIs modell, c) sum kopepoditter fra HIs modell kombinert med temperatur og salinitet, d) indeks 2 for lus per fisk fra VIs modell og e) indeks 2 for lus per fisk fra VIs modell kombinert med temperatur og salinitet. Den heltrukne linja angir 1-1 sammenheng mellom predikert og observert verdi..

Tabell 1. Forklaringsgrad R^2 for modeller basert på ulike luseprediktorer og med evt. gjennomsnittssalinitet og gjennomsnittstemperatur som ytterligere forklaringsvariable.

Forklaringsvariable	Lineær regresjon				Negativ binomisk regresjon			
	Ingen luse-pred.	HI sum kop.	VI luse-indeks1	VI luse-indeks2	Ingen luse-pred.	HI sum kop.	VI luse-indeks1	VI luse-indeks2
temperatur, salinitet	0.40				0.31			
luseprediktor		0.37	0.47	0.59		0.22	0.41	0.50
luseprediktor, sal.		0.40	0.49	0.63		0.28	0.43	0.54
lusepred., sal., temp.		0.56	0.54	0.63		0.42	0.46	0.54

Noen utvalgte modeller:

Modell basert på sum kopepoditter fra VIs modell i kombinasjon med temperatur og salinitet:

```
glm.nb(formula = tot.lice ~ log(sum.cop + 1) + mean.temp + mean.sal,
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-8.532024	0.327813	-26.03	<2e-16 ***
log(sum.cop + 1)	0.580049	0.030138	19.25	<2e-16 ***
mean.temp	0.396920	0.016728	23.73	<2e-16 ***
mean.sal	0.131383	0.006709	19.58	<2e-16 ***

Theta: 0.7407 Std. Err.: 0.0357

Modell basert på kun indeks 2 fra VIs modell:

```
glm.nb(formula = tot.lice ~ log(indeks 2)
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-1.50097	0.05969	-25.15	<2e-16 ***
log(indeks 2)	0.96856	0.02048	47.29	<2e-16 ***

Theta: 0.9013 Std. Err.: 0.0436

Modell basert på indeks 2 fra VIs modell i kombinasjon med temperatur og salinitet:

```
glm.nb(formula = tot.lice ~ log(indeks 2) + mean.temp + mean.sal,
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-3.186199	0.367784	-8.663	<2e-16 ***
log(VI.pred.lice.tot.cop90)	0.871694	0.028079	31.045	<2e-16 ***
mean.temp	0.001963	0.021325	0.092	0.927
mean.sal	0.070470	0.006741	10.454	<2e-16 ***

Theta: 1.0698 Std. Err.: 0.0554

Referanser

Johnsen, I., Fiksen, Ø., Sandvik, A. og Asplin, L. (2014). Vertical salmon lice behaviour as a response to environmental conditions and its influence on regional dispersion in a fjord system. *Aquaculture Environment Interactions*, 5:127–141. doi:10.3354/aei00098.

Kristoffersen, A., Jiminez, D., Viljugrein, H., Grøntvedt, R., Stien, A. og Jansen, P. (2014). Large scale modelling of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* infection pressure based on lice monitoring data from norwegian salmonid farms. *Epidemics*, 9:31–39. doi:10.1016/j.epidem.2014.09.007.

Redaktører: Karlsen, Ø., Finstad, B., Ugedal, O. og Svåsand, T. (2016). Kunnskapsstatus som grunnlag for kapasitetsjustering innen produksjons-områder basert på lakselus som indikator. Rapport fra Havforskningen Nr. 14-2016 ISSN 1893-4536, Havforskningsinstituttet.

Stien, A., Bjørn, P., Heuch, P. og Elston, D. (2005). Population dynamics of salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* on atlantic salmon and sea trout. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 290:263–275.