

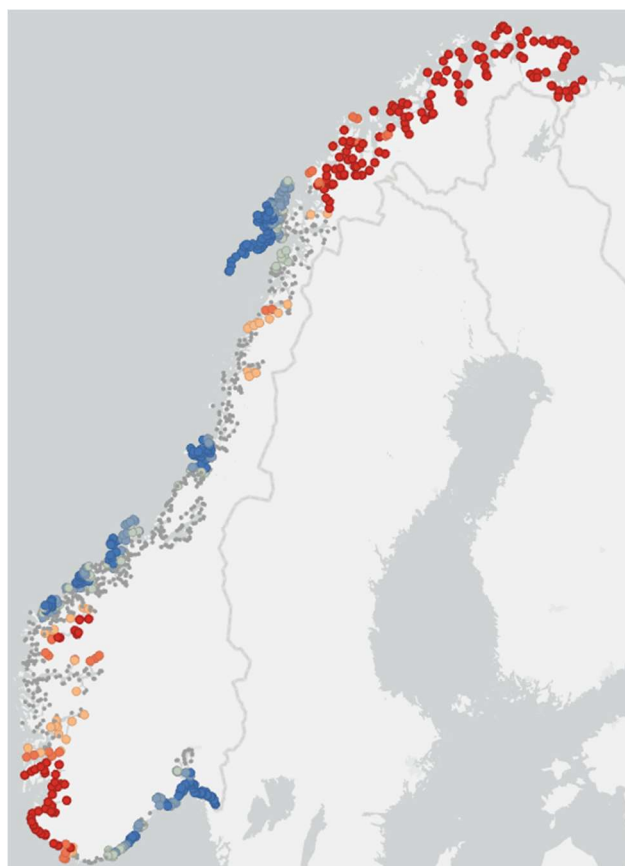
2004

NINA Rapport

Pukkellaks i Norge: kan vi forutse hvor den etablerer seg i fremtiden?

Nåværende og mulig fremtidig utbredelse

Henrik Hårdensson Berntsen, Ola H. Diserud, Frank Hanssen og Odd Terje Sandlund



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er NINAs ordinære rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på engelsk, som NINA Report.

NINA Temahefte

Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. Heftene har vanligvis en populærvitenskapelig form med vekt på illustrasjoner. NINA Temahefte kan også utgis på engelsk, som NINA Special Report.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler og i populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Pukkellaks i Norge: kan vi forutse hvor den etablerer seg i fremtiden?

Nåværende og mulig fremtidig utbredelse

Henrik Hårdensson Berntsen

Ola H. Diserud

Frank Hanssen

Odd Terje Sandlund

Berntsen H.H., Diserud, O.H., Hanssen, F. og Sandlund, O.T.
2021. Pukkellaks i Norge: kan vi forutse hvor den etablerer seg i
fremtiden? Nåværende og mulig fremtidig utbredelse. NINA
Rapport 2004. Norsk institutt for naturforskning.

Trondheim, mai 2021

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-4782-5

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Trygve Hesthagen

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningssjef Ingebrigt Uglem (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Miljødirektoratet

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

M-2044|2021

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Jarle Steinkjer

FORSIDEBILDE

Utbredelseskart laget av Frank Hanssen, NINA

NØKKELORD

- Pukkellaks
- Romlig fordeling
- Spredning
- Fremtidig utbredelse

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor
Postboks 5685 Torgarden
7485 Trondheim
Tlf: 73 80 14 00

NINA Oslo
Sognsveien 68
0855 Oslo
Tlf: 73 80 14 00

NINA Tromsø
Postboks 6606 Langnes
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 04 00

NINA Lillehammer
Vormstuguvegen 40
2624 Lillehammer
Tlf: 73 80 14 00

NINA Bergen
Thormøhlens gate 55
5006 Bergen
Tlf: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Berntsen H.H., Diserud, O.H., Hanssen, F. og Sandlund, O.T. 2021. Pukkellaks i Norge: kan vi forutse hvor den etablerer seg i fremtiden? Nåværende og mulig fremtidig utbredelse. NINA Rapport 2004. Norsk institutt for naturforskning.

I Norge har pukkellaksen i de senere årene økt drastisk i antall og ser også ut til å utvide sitt kjerneområde vest- og sørover i landet fra sin tidligere kjente forekomst i Øst-Finnmark. Pukkellaksens toårige livssyklus innebærer imidlertid at kunnskap om artens utbredelse og bestandsutvikling bare blir oppdatert annet hvert år. Det betyr at det er tidkrevende å samle en god data-serie, noe som gjør det ekstra vanskelig å forutsi hvor arten vil forekomme i fremtiden.

I denne rapporten analyserer vi registreringene av pukkellaks fra sportsfisket i norske elver i 2017 og 2019. Formålet er å beskrive hvilke vassdragsegenskaper som forklarer dagens registrerte utbredelse og videre bruke denne kunnskapen til å identifisere nye elver og områder hvor pukkellaksen kan ventes å forekomme i fremtiden. For hvert vassdrag innhentet vi et sett med variabler som er tenkt å reflektere deres egenskaper i form av tiltrekningskraft på pukkellaksen. Disse variablene inkluderer informasjon om vassdragenes geografiske beliggenhet (avstand til riksgrensen til Russland og til grunnlinja), størrelse (middelvanntføring) og munningsområdenes utforming og miljø (dybde, temperatur og salinitet). Antallet fangede laks, ørret og røye i vassdraget ble også inkludert som et mål på den lokale fangststigningen.

Analysene av sportsfiskefangstene viser at det stort sett er de samme mekanismene som forklarer pukkellaksens romlige fordeling i 2017 og 2019. Elver nær riksgrensen til Russland (dvs. kjerneområdet til pukkellaksen), med stor vanntføring og store fangster av laksefisk hadde også store observasjoner av pukkellaks i begge årene. Effekten av nærheten til kjerneområdet var i samme størrelsesorden i begge årene og gjenspeiler at majoriteten av fangstene av pukkellaks i Norge er gjort i Finnmark. Betydningen av fangst av laksefisk (fangststigning) var større i 2019 enn i 2017, og er trolig et resultat av de endrede rutineprosedurene for registrering av pukkellaks dette året, og dermed større rapporteringsvilje enn i 2017. Betydningen av størrelsen på elva (vanntføringen) var imidlertid mindre i 2019 sammenliknet med i 2017, og i tillegg betydelig mindre i Troms og Finnmark enn i resten av landet. Dette kan være et resultat av en større rapporteringsvilje i 2019, hvor en bedre overvåking i mindre og tidligere dårlige organiserte elver gir et mer nøyaktig bilde på sammenhengen mellom vanntføring og antallet pukkellaks sammenliknet med i 2017. Resultatet indikerer imidlertid også at når pukkellaksen først er etablert i en region som Troms og Finnmark eller til stede i et stort antall i andre regioner vil den kunne forekomme relativt tallrikt i mange elver, uavhengig av deres størrelse og lokalisering.

Inspeksjonen av forklaringsmodellene for Troms og Finnmark i 2017 og 2019 identifiserte systematiske mønstre i avviket mellom observert og forventet antall pukkellaks i elvene og viste at i) elver som munnner ut i Varangerfjorden er spesielt utsatt og hvor det forventes mye pukkellaks, og at ii) store elver i Troms og Finnmark er forventet å ha et mye større antall pukkellaks enn det som hittil er blitt registrert. Fangststigningen i disse elvene må økes for å få en bedre oversikt over det faktiske antallet pukkellaks.

På grunnlag av de data vi nå har for pukkellaks i norske elver, er det ikke mulig å forutse med noen grad av sikkerhet i hvilke elver og i hvilke regioner arten vil etablere seg dersom det skjer en videre økning av antall fisk som kommer til norske kystfarvann, eller en økt egenproduksjon

i norske elver. Prediksjonsmodeller indikerer at området Troms ned mot Vesterålen vil få en videre økning i antall vassdrag med mye pukkellaks. Det er trolig elver i nærheten av områder der det var mye pukkellaks i 2017 og 2019 (dvs. Øst-Finnmark og Russland) som vil drive den videre utviklingen dersom det skjer en økning av antall pukkellaks i våre farvann. En videre modellering av pukkellaksens forekomst og framtidig invasjon vil være avhengig av forbedret kvalitet på registreringsdataene.

Henrik Hårdensson Berntsen, Ola H. Diserud, Frank Hanssen, Odd Terje Sandlund. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim, e-post: henrik.berntsen@nina.no, ola.diserud@nina.no, frank.hanssen@nina.no, odd.sandlund@nina.no

Innhold

Sammendrag	3
Innhold	5
Forord	6
1 Innledning	7
2 Metode og materiale	9
2.1 Datagrunnlag	9
2.1.1 Observasjoner av pukkelaks.....	9
2.1.2 Valg av forklaringsvariabler	11
2.2 Statistiske analyser og modellering.....	12
2.2.1 Forklare nåværende utbredelse	12
2.2.2 Verifisering av modeller og identifisering av avvik	13
2.2.3 Forutse mulig fremtidig utbredelse	13
3 Resultater og diskusjon	15
3.1 Forklare nåværende utbredelse	15
3.2 Verifisering av modeller og identifisering av avvik	20
3.3 Forutse mulig fremtidig utbredelse	24
4 Samlet konklusjon	26
5 Referanser	28
6 Vedlegg	30

Forord

Pukkellaks er en fremmed art i Norge som i de senere årene har økt drastisk i antall og som ser ut til å utvide sitt kjerneområde vest- og sørover i landet fra sin tidligere kjente forekomst i Øst-Finnmark. Pukkellaksens toårige livssyklus innebærer imidlertid at kunnskap om artens utbredelse og bestandsutvikling bare blir oppdatert annet hvert år. Det betyr at det er tidkrevende å samle en god dataserie, noe som gjør det ekstra vanskelig å forutsi hvor arten vil forekomme i fremtiden.

I denne rapporten analyserer vi registreringene av pukkellaks i norske elver i 2017 og 2019, med formål å beskrive hvilke vassdragsegenskaper som forklarer dagens registrerte utbredelse og videre bruke denne kunnskapen til å identifisere nye elver og områder hvor pukkellaksen kan ventes å forekomme i fremtiden.

Prosjektet er finansiert av Miljødirektoratet og NINA.

Trondheim, mai 2021
Henrik H. Berntsen

1 Innledning

Pukkellaks (*Oncorhynchus gorbuscha*) er en stillehavslaks som ble introdusert i elver rundt Kvitsjøen i Nordvest-Russland fra 1950-årene fram til omkring år 2000 (beskrevet i Berntsen mfl. 2018, Mo mfl. 2018, Sandlund mfl. 2019). Siden utsettingene startet har arten regelmessig blitt observert i norske elver og kystfarvann, men antallet har vært svært varierende og i all hovedsak begrenset (Sandlund mfl. 2019). Situasjonen endret seg i 2017 da et stort antall (>11000 fisk) pukkellaks ble registrert i elver langs hele norskekysten (Berntsen mfl. 2018). I 2019 gjentok dette seg, med en ny og enda mer tallrik invasjon (>20000 fisk, Berntsen mfl. 2020). Ettersom utsettingene av pukkellaks i nordvest-Russland ble avsluttet omkring år 2000, er de siste årenes økning i pukkellaksbestanden et resultat av naturlig gyting. I Norge er det registrert vellykket gyting i flere elver (Berntsen mfl. 2018, Muladal, 2018, 2020) og arten er antatt å ha opprettet egne norske bestander i flere nordnorske elver (Artsdatabanken, 2018). Øst-Finnmark og spesielt elvene rundt Varangerfjorden er å regne som pukkellaksens nåværende kjerneområde i Norge, med ~80 % av all registrert fangst (Berntsen mfl. 2018, 2020). Utviklingen fra 2017 til 2019 viser imidlertid tegn til at pukkellaksen utvider dette området vest- og sørover. Vest-Finnmark og Troms hadde begge en økning i elvefangst av pukkellaks på 178 % fra 2017 til 2019 (Berntsen mfl. 2020).

På lik linje med andre laksefisk har pukkellaksen hjemvandring (såkalt homing), hvor flertallet av lakseungene som vandrer ut fra en elv finner tilbake til elva eller regionen der de ble gytt (Hendry mfl. 2004). Pukkellaksen er imidlertid den arten av laksefisk som har den laveste graden av hjemfinning (5-34 % feilvandring) (Hendry mfl. 2004). Genetiske studier viser at pukkellaksbestander i ulike elver er mer like hverandre enn det som er tilfelle hos andre laksefisk (Hendry mfl. 2004). Dette indikerer at pukkellaksen har en relativt stor utveksling av individer mellom nærliggende bestander innenfor en region. Invasjonen i 2017 viste også at pukkellaksen har en utstrakt evne til langdistansespredning, da arten det året ble registrert i flere land rundt Nord-Atlanteren, til og med på Grønland og i Newfoundland i Canada, mer enn 5000 km fra sitt daværende kjente kjerneområde rundt Kvitsjøen (Nielsen mfl. 2020, Berntsen, H.H. unpubl.). Pukkellaksens relativt høye grad av feilvandring kombinert med dens evne til langdistansespredning gjør at arten har et stort potensial til å spre seg til nye områder og etablere nye bestander (Artsdatabanken 2018).

Pukkellaks er av Artsdatabanken (2018) og Vitenskapskomiteen for mat og miljø (VKM, Hindar mfl. 2020) klassifisert som en trussel mot stedegen laksefisk og økosystemene i norske elver. Som følge av dette er det gjennomført betydelige tiltak for å fjerne pukkellaks i mange norske elver (beskrevet i Berntsen mfl. 2018, 2020). Det er også utviklet et forslag til handlingsplan for å bekjempe pukkellaks i norske elver (Mo mfl. 2021). Pukkellaks har en toårig livssyklus som innebærer at avkommet til gytefisk i ett gitt år returnerer til elva for å gyte to år senere. All returierende voksenfisk dør etter gyting. Pukkellaks forekommer i to ulike bestander; de som gyter i partallsår og de som gyter i oddetallsår. I Nordvest-Russland og Norge er det oddetallsbestanden som er den mest tallrike, men det forekommer også en liten partallsbestand. I et forvaltningsspektiv innebærer pukkellaksens livssyklus imidlertid at kunnskap om artens utbredelse og bestandsutvikling bare oppdateres annet hvert år. Dette, i kombinasjon med artens tendens til feilvandring og evne til langdistansespredning, gjør det vanskelig å forutsi hvor den vil forekomme neste sesong (dvs. om to år). Planlegging av forvaltningstiltak fra sesong til sesong blir dermed vanskelig, og det er derfor i dag behov for kunnskap som kan brukes til å identifisere hvilke elver eller geografiske områder der det er sannsynlig at pukkellaksen vil forekomme i fremtiden.

I denne rapporten analyserer vi registreringene av pukkellaks i norske elver i 2017 og 2019, med det overordnede formålet å beskrive hva som forklarer dagens registrerte utbredelse og videre bruke denne kunnskapen til å identifisere nye elver og områder der pukkellaksen kan forekomme i fremtiden.

Analysene gjennomføres i tre deler:

- 1) Informasjon om elvenes geografiske beliggenhet og vassdragsegenskaper brukes til å undersøke hva som forklarer pukkellaksens nåværende registrerte utbredelse.
- 2) Modellprediksjoner fra forklaringsmodellene brukes til å identifisere avvik fra observasjonene for på den måten a) validere forklaringsmodellene og b) synliggjøre elver og regioner hvor det ble registrert mer eller mindre pukkellaks enn det forklaringsmodellene forventet.
- 3) Kunnskapen fra forklaringsmodellene brukes til å undersøke om det er mulig å forutse hvilke elver og regioner også utenfor det nåværende kjerneområdet som kan motta pukkellaks i fremtiden.

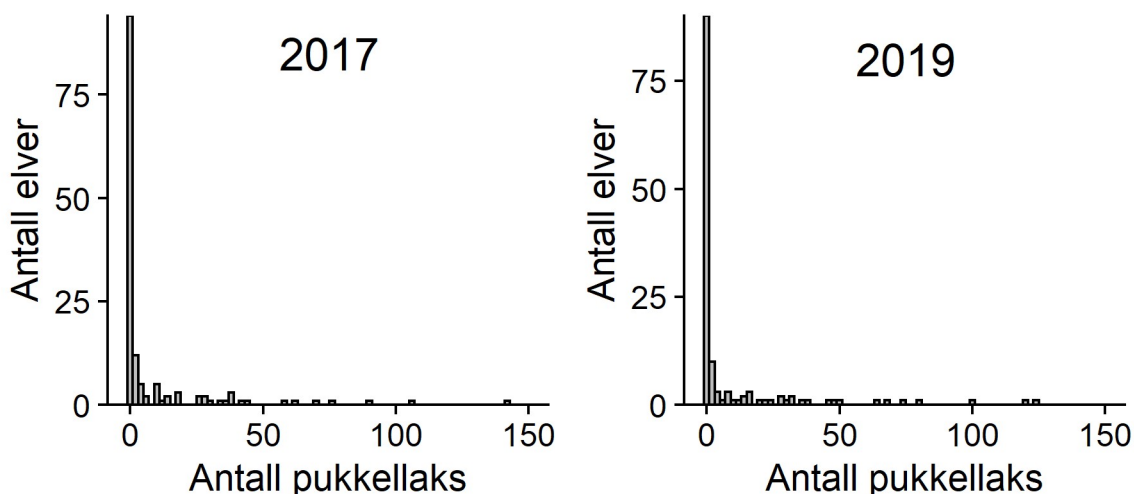
2 Metode og materiale

2.1 Datagrunnlag

2.1.1 Observasjoner av pukkellaks

Datagrunnlaget for denne rapporten består av observasjonsdata, dvs. tellinger av pukkellaks fra sportsfiske (stangfiske), rettet uttakfiske og drivtelling i elver i 2017 og 2019, som er beskrevet i Berntsen mfl. (2018, 2020). I tillegg til elvene med forekomst av pukkellaks inkluderer datasettet også alle anadrome elver og bekker fra Miljødirektoratets lakseregister som ikke hadde noen registrerte forekomster av pukkellaks i 2017 og 2019.

Observasjonene av pukkellaks er svært skjevfordelt, hvor noen få elver har registrert et meget stort antall individer (> 1000 fisk), mens majoriteten av elvene har få (< 10) eller ingen registreringer (Berntsen mfl. 2018, 2020) (illustrert i **figur 1**).



Figur 1. Fordelingen av antall pukkellaks registrert i sportsfisket i elver i Troms og Finnmark i 2017 og 2019. Figuren er trunkert på 150 pukkellaks (x-aksen) for å visuelt fremheve forskjellene. For 2017 er Neiden ($n=183$) og Tanaelva ($n=959$) utelatt fra figuren. For 2019 er Neiden ($n=470$), Tanaelva ($n=1646$), Lille Porsangerelva ($n=339$), Vestre Jakobselv ($n=246$), Vesterelva i Nesseby ($n=269$) og Grense Jakobselv ($n=179$) utelatt fra figuren. Den faktiske fordelingen i Troms og Finnmark er altså enda skjevere.

Den romlige fordelingen til registreringene av pukkellaks er ikke bare bestemt av faktisk geografisk utbredelse, men også av sannsynligheten for at fisk i et gitt vassdrag blir observert. Denne observasjonssannsynligheten vil være påvirket av aktiviteten eller innsatsen som er lagt ned for å observere pukkellaks i den enkelte elv (**tabell 1** og **2**), og vil være høyere i elver med organisert sportsfiske enn i elver uten organisert sportsfiske. Ekstra innsats, slik som rettet uttakfiske og drivtelling, vil øke observasjonssannsynligheten markant. I mange tilfeller er uttakfisket igangsatt som følge av observasjonene som er gjort under sportsfisket. Videre vil kunnskapen om pukkellaks, samt muligheten eller viljen til å rapportere fangst også påvirke sannsynligheten for at en forekomst blir registrert.

Tabell 1. Fylkesoversikt over antallet anadrome elver/bekker som er registrert i Miljødirektoratets lakseregister og inkludert i analysene i denne rapporten, antallet elver med eller uten registrert forekomst av pukkellaks i 2017 og antallet av disse elvene hvor det foreligger informasjon om fangstinnssats dette året. Tallene i parentes viser antallet elver med sportsfiske og antallet elver hvor det ble utført ekstra aktivitet, slik som rettet uttakfiske eller drivtelling (sportsfiske/uttak eller driv.). I elvene uten registreringer av pukkellaks i 2017 foreligger det ikke informasjon om uttakfiske eller drivtelling. Informasjon om sportsfiske er hentet fra www.fangstrapp.no og www.ssb.no.

Fylke	Totalt antall elver	Elver med pukkellaks		Elver uten pukkellaks	
		N	Elver med innsats	N	Elver med innsats
Troms og Finnmark	155	69	60 (60/32)	86	39
Nordland	276	48	34 (34/0)	228	63
Trøndelag	206	25	21 (21/4)	181	12
Møre og Romsdal	222	30	27 (27/3)	192	23
Vestland	184	45	37 (37/16)	139	30
Rogaland	39	18	18 (18/1)	21	9
Agder	75	7	7 (7/0)	68	3
Vestfold og Telemark	68	3	2 (2/0)	65	1
Oslo	5	2	2 (2/0)	3	1
Viken	92	4	4 (4/0)	88	5
Totalt	1322	251	219	1071	186

Tabell 2. Fylkesoversikt over antallet anadrome elver/bekker som er registrert i Miljødirektoratets lakseregister og inkludert i analysene i denne rapporten, antallet elver med eller uten registrert forekomst av pukkellaks i 2019 og antallet av disse elvene hvor det foreligger informasjon om fangstinnssats dette året. Tallene i parentes viser antallet elver med sportsfiske og antallet elver hvor det ble utført ekstra aktivitet slik som rettet uttakfiske eller drivtelling (sportsfiske/uttak eller driv.). I elvene uten registreringer av pukkellaks i 2019 foreligger det ikke informasjon om uttakfiske eller drivtelling. Informasjon om sportsfiske er hentet fra www.fangstrapp.no og www.ssb.no.

Fylke	Totalt antall elver	Elver med pukkellaks		Elver uten pukkellaks	
		N	Elver med innsats	N	Elver med innsats
Troms og Finnmark	155	74	70 (69/28)	81	32
Nordland	276	30	29 (29/6)	246	71
Trøndelag	206	13	12 (11/2)	193	21
Møre og Romsdal	222	15	14 (14/1)	207	44
Vestland	184	13	13 (11/4)	171	53
Rogaland	39	6	6 (6/0)	33	21
Agder	75	3	3 (3/0)	72	7
Vestfold og Telemark	68	2	2 (2/1)	66	1
Oslo	5	1	1 (1/0)	4	2
Viken	92	1	1 (1/0)	91	7
Totalt	1322	158	151	1164	259

I 2017 fantes det ikke noe forberedt og organisert system for rapportering av pukkellaks i Norge, noe som medførte at registreringene fikk et *ad hoc* preg. På bakgrunn av den store invasjonen i 2017 ble det i 2019 innført endringer i rutineene for rapportering slik at pukkellaks inngikk i den ordinære fangstatistikken i elvene. Som følge av dette er trolig kvaliteten på dataene fra 2019 bedre enn fra 2017. Pukkellaksens nåværende kjerneområde er som nevnt i Troms og Finnmark og da spesielt i Øst-Finnmark. Som følge av den store forekomsten av pukkellaks i Øst-Finnmark i 2017 og 2019 er det også lagt ned betydelig større innsats på å overvåke og fjerne arten fra elvene i denne regionen enn fra vassdrag i andre regioner. På grunn av den svært varierende innsatsen og bevisstheten rundt fangst og registrering av pukkellaks mellom vassdrag og regioner (**tabell 1** og **2**), vil registreringene ikke nødvendigvis representere pukkellaksens faktiske geografiske utbredelse. Dette gjelder både innenfor og mellom de to undersøkte årene (2017 og 2019) (**tabell 1** og **2**).

For å modellere pukkellaksens romlige fordeling, framfor på fangstinnsats, bruker vi kun antallet pukkellaks som er registrert i sportsfisket som grunnlag for de statistiske modellene i denne rapporten (**figur 1**). Fangstinnsatsen i sportsfisket er i større grad enn i uttaksfisket relativ til bestandsstørrelsen av annen laksefisk, som igjen er relativ til størrelsen på elva. Sportsfiskefangster vil derfor være sammenliknbare på tvers av vassdrag, til tross for at det registrerte antallet av pukkellaks kan være relativt lavt sammenliknet med det totale antallet registrerte fisk (se Berntsen mfl. 2018, 2020).

2.1.2 Valg av forklaringsvariabler

Som følge av en generelt stor samplingusikkerhet, den skjeve fordelingen i datasettet, og den forventede effekten av varierende observasjonssannsynligheter, valgte vi en enkel og konservativ tilnærming til valget av forklaringsvariabler i de statistiske modellene. For hvert vassdrag innhentet vi et sett med variabler som er tenkt å reflektere vassdragenes egenskaper i form av tiltrekningskraft på pukkellaksen. Disse variablene inkluderer informasjon om vassdragenes geografiske beliggenhet, størrelse og munningsområdenes utforming og miljø.

Som mål på elvenes geografiske plassering benyttet vi avstanden (i km) i havet fra elvemunningen til riksgrensen mot Russland og avstanden (i km) i havet fra elvemunningen til grunnlinja. Avstanden til riksgrensen er tenkt å beskrive elvenes beliggenhet i forhold til pukkellaksens kjerneområde rundt Kvitsjøen, men vil samtidig ta hensyn til at en del pukkellaks kan komme fra norske elver i Øst-Finnmark. Avstanden til grunnlinja beskriver elvenes eksposisjon mot åpent hav (dvs. om elvene ligger ytterst på kysten eller inne i en fjord) som et mål på hvor lett tilgjengelig den er for innvandrende pukkellaks.

Elvenes størrelse ble beskrevet av middelvannføringen (m^3/s) (NVE), og reflekterer både elvenes fysiske størrelse og mengden ferskvann de fører ut i havet. Dette er faktorer som kan tenkes å tiltrekke pukkellaksen.

Elvenes munningsområde ble definert som vanddekt areal 500 meter ut fra elveutløpet og ble beskrevet av gjennomsnittsdybden i munningsområdet, beregnet på grunnlag av dybde data fra Kartverket (2021). Dybden beskriver om elvene har større grunnområder (estuarie) eller om de renner rett ut i en dyp fjord. Miljøet i munningsområdet ble beskrevet av gjennomsnittstemperaturen ($^{\circ}C$) i perioden 1. juni - 31. august for 2017 og 2019. For samme periode ble også gjennomsnittlig salinitet (psu) brukt. Vi hadde ikke tilgang til salinitetsdata fra 2017. Både temperatur og salinitetsdata er hentet fra Nordkyst800-modellen (Albretsen mfl. 2011). Munningsområdene

og alle miljøvariablene (med unntak av vannføring) ble modellert i Google Earth Engine (Gorelick mfl. 2017).

I tillegg til de nevnte variablene inkluderte vi også for hvert vassdrag informasjon om antallet laks, ørret og røye som var registrert fanget under sportsfisket, som en indikasjon på aktiviteten eller registreringsviljen. Dette vil dermed fungere som en innsatsvariabel i vassdraget. I tillegg til å beskrive fangststinsatsen vil denne variabelen også kunne reflektere om tilstedeværelsen av mye annen laksefisk sier noe om gunstig habitat også for pukkellaks.

Tabell 3. Oversikt over utvalgte variabler og vassdragssegenskaper anvendt i de statistiske modellene i denne rapporten.

Variabel	Forklaring
Pukkellaks	Responsvariabel
Antall pukkellaks	Registreringer fra sportsfiske.
Vassdragssegenskaper	Forklaringsvariabel
Avstand Russland	Avstand (km) i hav fra elveutløpt til riksgrensa mot Russland
Avstand grunnlinja	Avstand (km) i hav fra elveutløpt til grunnlinja
Vannføring	Årlig middelvannføring (m ³ /s).
Dybde estuarier	Gjennomsnittsdybde (m) i estuarier
Temperatur estuarier	Gjennomsnittlig temperatur (°C) estuarier juni-
Salinitet estuarier	Gjennomsnittlig salinitet (psu) estuarier juni-august
Fangst laksefisk	Aktivitet i vassdraget - registrert fangst av laks, ørret og røye i sportsfiske fra www.fangstrapp.no og www.ssb.no

2.2 Statistiske analyser og modellering

2.2.1 Forklare nåværende utbredelse

Variasjonen i pukkellaksens utbredelse ble analysert gjennom en generalisert lineær modell med negativ binomisk fordelt respons, og med de forklaringsvariablene som er beskrevet over (**tabell 3**).

Analysene ble utført separat for datamaterialet fra 2017 og 2019. Pukkellaksens nåværende kjerneområde er i Troms og Finnmark, med >80% av all fangst. For å ta høyde for denne romlige skjevfordelingen av registreringene, og for å undersøke om det kan være ulike mekanismer bak fordelingen av pukkellaks i ulike deler av landet delte vi analysene i tre;

1. En analyse kun for Troms og Finnmark (dagens kjerneområde i Norge).
2. En analyse for resten av landet (altså uten Troms og Finnmark).
3. En analyse for hele landet samlet.

Innledende inspeksjon av datamaterialet og modellene viste at registreringene fra Tanaelva hadde stor innflytelse på forklaringsgraden til modellene i både 2017 og 2019. I begge årene stod Tanaelva alene for henholdsvis 53 % og 38 % av de totale sportsfiskefangstene i Norge. Vi tilpasset derfor modeller til datasettet med og uten Tanaelva, men presenterer i denne rapporten kun modellene uten Tanaelva.

Analysene ble gjennomført i programvaren *R* vers. 4.0.3 (R Core Team, 2020). Variablene middelvannføring og fangst av laksefisk ble log-transformert. Flere av forklaringsvariablene er korrelerte, slik som for eksempel avstand til riksgrensen mot Russland og temperaturen i estuariet. Dette tas hensyn til under modellseleksjonen.

2.2.2 Verifisering av modeller og identifisering av avvik

Vi inspiserte residualene, dvs. differansen mellom observerte og predikerte verdier, fra modellene for Troms og Finnmark, og modellene for resten av landet som er beskrevet i avsnitt 2.2.1 og **tabell 4** og **5**, for å;

- Identifisere elver hvor det var registrert enten mer eller mindre pukkellaks enn det som skulle forventes ut fra forklaringsmodellene for hvert av årene.
- Undersøke om det finnes systematiske avvik på tvers av årene, dvs. om det er spesifikke elver eller regioner hvor det registreres mer eller mindre pukkellaks enn forventet.

Vi gjør et utvalg av de største avvikene i modellene og undersøker om det finnes underliggende årsaker som kan forklare avvikene.

Pukkellaksens kjerneområde i 2017 og 2019 var altså i Troms og Finnmark, og dataene fra denne regionen er av best kvalitet. Vi presenterer og diskuterer derfor kun resultatene fra modellen for Troms og Finnmark. En fremstilling av resultatene fra modellene fra resten av landet er vist i **Vedlegg 1**.

2.2.3 Forutse mulig fremtidig utbredelse

For å identifisere områder i Norge som, basert på deres vassdragsegenskaper, kan tenkes å motta pukkellaks i fremtiden konstruerte vi et scenario hvor vi antar at pukkellaksen oppholder seg i havet langs hele norskekysten og at dermed innsiget til elvene vil være relativt likt i alle landsdeler (dvs. uavhengig av nåværende geografiske utbredelse).

Dette ble gjort ved på nytt å modellere pukkellaksens romlige fordeling basert på registreringer fra sportsfisket fra hele landet og forklaringsvariablene beskrevet i **tabell 3**, men nå uten variablene avstand til Russland og temperaturen i estuariet (som er korrelert med avstand til Russland). For å ta høyde for samplingusikkerheten som finnes i datasettet, spesielt mellom 2017 og 2019, gjennomførte vi,

- En modell tilpasset registreringer fra sportsfisket i 2017.
- En modell tilpasset registreringer fra sportsfisket i 2019.
- En modell tilpasset den største registrerte fangsten fra ett av de to årene.

I den siste modellen antar vi at variasjonen i antall registrerte pukkellaks mellom årene skyldes rapporteringsvilje og dermed at største registrerte fangst fra ett av de to årene er nærmere det faktiske antallet pukkellaks i elvene enn gjennomsnittet av de to årene. Videre antar vi at det er de samme mekanismene som forklarer fordelingen av pukkellaksen i begge årene. Som mål på fangstinnstansen i elvene brukte vi gjennomsnittsverdien av fangsten av laksefisk fra 2017 og 2019.

De tre modellene ble brukt til prediksjon av fremtidig utbredelse ved hjelp av ArcGIS Pro - verktøyet "Forest-based Classification and Regression" (ESRI 2021a, versjon 2.7.3). Dette verktøyet

benytter en såkalt "Random forest" algoritme (Breimann mfl. 2017) og styrt maskinlæring, hvor responsvariabelen (antall observasjoner) blir trent mot de aktuelle forklaringsvariablene. Prediksjonen av mulig fremtidig utbredelse foregår ved at algoritmen setter av et utvalg treningsdata til validering av den ferdige prediksjonen, før den går i gang med å bygge opp en mengde prediksjonsmodeller (kalt "decision trees") basert på tilfeldig utvalgte elver og kombinasjoner av de ulike forklaringsvariablene. Til slutt kombineres alle prediksjonsmodellene til én prediksjonsmodell (ofte kalt "Random forest"), som så valideres mot det avsatte utvalget av treningsdata. Fordelen med "Random forest" er at en unngår å overtilpasse prediksjonsmodellen i forhold til variasjonen i treningsdataene.

For å identifisere geografiske mønstre i predikert utbredelse benyttet vi oss av ArcGIS Pro-verktøyet "Hot Spot Analysis (Getis-Ord G_i^*)" (ESRI 2021b, versjon 2.7.3). Dette foregår ved at en algoritme identifiserer statistisk signifikante klyngedannelser av henholdsvis (relativt sett) høye prediksjonsverdier ("hot-spots") og lave prediksjonsverdier ("cold-spots") innenfor et definert naboskap til omkringliggende elver.

Vi legger i denne øvelsen altså ikke vekt på det predikerte antallet pukkellaks per elv, men bruker sammenlikningen av klyngedannelsen av de predikerte verdiene fra de tre modellene som grunnlag for å identifisere geografiske områder som kan få en stor eller liten forekomst av pukkellaks i fremtiden. Resultatene presenteres i kart.

3 Resultater og diskusjon

3.1 Forklare nåværende utbredelse

Analysene av pukkellaksregistreringene fra sportsfisket i 2017 viste at i alle de tre modellene var elvas avstand til Russland, middelvannføring og registrerte fangst av laksefisk viktige for å forklare pukkellaksens romlige fordeling (**tabell 4**). Elver nær grensen til Russland (dvs. kjerneområdet), med stor vannføring og store fangster av laksefisk hadde også store observasjoner av pukkellaks. For Troms og Finnmark var det kun avstanden til Russland, vannføring og fangst av laksefisk som forklarte utbredelsen. I resten av landet, dvs. uten Troms og Finnmark, fikk avstand til Russland en noe redusert betydning, mens vannføring fikk en økt betydning sammenliknet med modellen for Troms og Finnmark. Temperaturen i estuariet kom også inn som en signifikant variabel (**tabell 4**). Analysen av observasjonene fra sportsfisket i 2017 for hele landet samlet viste i tillegg til avstand til Russland, vannføring og fangst av annen laksefisk at også temperaturen i estuariet og avstanden til grunnlinja hadde en innflytelse på antallet pukkellaks i elvene (**tabell 4**). Også her var bidraget av vannføring større enn for analysen for Troms og Finnmark, mens avstanden til Russland var i samme størrelsesorden.

Analysene av sporfiskefangstene i 2019 viste, som for 2017, at elvas avstand til Russland, og registrerte fangst av laksefisk var viktige for å forklare pukkellaksens romlige fordeling (**tabell 5**). Elver nær grensen til Russland, og med store fangster av laksefisk hadde også store observasjonen av pukkellaks. I motsetning til 2017, hadde ikke vannføringen i elver i Troms og Finnmark noen innflytelse på pukkellaksens utbredelse i denne regionen, men hvor avstanden til grunnlinja i stedet kom inn som en forklarende variabel. Analysen av sportsfiskefangster i resten av landet i 2019 (dvs. uten Troms og Finnmark) ga samme resultat som for 2017, hvor antallet registrerte pukkellaks var forklart av elvas avstand til Russland, middelvannføring, estuariets temperatur og registrerte fangst av laksefisk (**tabell 5**). For sportsfisket i 2019 for hele landet samlet var fangstene av pukkellaks forklart av avstanden til Russland, middelvannføringen, temperaturen i estuariet og fangsten av laksefisk (**tabell 5**). Sammenliknet med analysene for resten av landet uten Troms og Finnmark i 2019 hadde både vannføring og avstanden til Russland en noe større betydning for pukkellaksens romlige fordeling.

Modellene basert på sportsfiskefangstene viser at det stort sett er de samme mekanismene som forklarer pukkellaksens romlige fordeling i 2017 og 2019. Elver nær grensen til Russland (dvs. kjerneområdet), med stor vannføring og store fangster av laksefisk hadde også store observasjoner av pukkellaks i begge årene (**tabell 4 og 5**). Effekten av avstanden til Russland er i omtrentlig samme størrelsesorden i begge årene, uansett region (Troms og Finnmark vs. resten av landet) (**tabell 4 og 5**). Dette er som forventet og gjenspeiler det at majoriteten av pukkellaksen i Norge er registrert i Finnmark (Berntsen mfl. 2018, 2020). Innenfor hvert av årene er også innflytelsen av fangst av annen laksefisk ganske like på tvers av de tre analysene (**tabell 4 og 5**). Fangst av annen laksefisk øker imidlertid sitt bidrag i 2019 sammenliknet med 2017, mens vannføring får redusert betydning i 2019 sammenliknet med 2017, og faller helt bort som forklaringsvariabel for Troms og Finnmark (**tabell 4 og 5**). Det økte bidraget fra fangst av annen laksefisk i 2019 er trolig et resultat av de endrede rutine for registrering av pukkellaks dette året, med større rapporteringsvilje enn i 2017. Økt rapporteringsvilje kan derfor til dels også forklare den reduserte effekten av vannføring i 2019, hvor en bedre overvåking i mindre og tidligere dårlig organiserte elver gir et mer nøyaktig bilde av sammenhengen mellom vannføring og antallet pukkellaks sammenliknet med i 2017. Pukkellaksens fordeling i Norge i 2019 var mer konsentrert i Troms og Finnmark enn i 2017 (Berntsen mfl. 2020). Bortfallet av vannføring som

forklaringsvariabel i Troms og Finnmark i 2019 kan derfor indikere at den romlige fordelingen av pukkellaks innenfor artens kjerneområde er uavhengig av elvenes vannføring (og størrelsen på elva), muligens som følge av en stor grad av feilvandring. En liknende effekt er også indikert gjennom den reduserte betydningen av vannføring i analysene for Troms og Finnmark sammenliknet med resten av landet (og hele landet) i 2017. Dette kan tyde på at når pukkellaksen først er etablert i en region eller til stede i et stort antall vil den kunne forekomme i relativt store antall i mange elver, uavhengig av deres størrelse. Muligens ser vi her en del av invasjonodynamikken til pukkellaksen, hvor den først tiltrekkes og etablerer seg i de store elvene i en region, for så å etterhvert etablere seg i de mindre nabovassdragene.

Den signifikante effekten av avstanden til grunnlinja (negativ sammenheng) for Troms og Finnmark i 2019 (**tabell 5**), viser imidlertid at det også finnes andre romlige komponenter som kan påvirke fordelingen til pukkellaks i denne regionen. Avstanden til grunnlinja er en veletablert geografisk enhet. Det må imidlertid her tas forbehold om at denne variabelen trolig beskriver regional variasjon på en større skala (på fylkesnivå) framfor å eksakt beskrive variasjonen mellom elver i deres eksposisjon til åpent hav. Den direkte årsakssammenheng mellom antallet pukkellaks og avstanden til grunnlinja er derfor ikke helt klar. Det vil være behov for utvikling av et mer egnet mål for eksposisjon til åpent hav for bruk i fremtidige analyser.

Avstanden til grunnlinja og temperaturen i estuariet kommer begge inn som signifikante forklaringsvariabler i analysene av resten av landet uten Troms og Finnmark og for hele landet samlet (**tabell 4 og 5**). Inspeksjoner av modellene viser imidlertid at disse variablene ikke er uavhengige, hvor fjerning av den ene fra modellen sterkt påvirker den andres bidrag og signifikans. Temperaturen i estuariet er i tillegg sterkt korrelert med avstanden til Russland (varmere lenger sør). Den direkte årsakssammenheng mellom pukkellaksens romlige fordeling og disse variablene er derfor ikke lett å tolke. Trolig reflekterer disse variablene snarere en romlig komponent som varierer mellom ulike regioner, men hvor deres betydning for pukkellaksens fordeling i landet ikke direkte lar seg beskrive.

Avslutningsvis er det viktig å nevne at modellene for 2017 og 2019 undersøker hvilke av de utvalgte miljøvariablene som forklarer variasjonen i pukkellaksens romlige fordeling på en stor regional skala (Troms og Finnmark og resten av landet). Det er ikke gitt at de samme variablene vil ha betydning for hvilke elver pukkellaksen ender opp i hvis analysene gjennomføres på en mindre romlig skala, slik som for eksempel innenfor et fjordsystem. Miljøvariablene som dybde og saliniteten i estuariet hadde ingen signifikant betydning for pukkellaksens utbredelse og abundans i analysene i denne rapporten. Disse variablene kan imidlertid tenkes å ha betydning for tiltrekningen på pukkellaksen over et mindre område eller også for etableringen av pukkellaks over tid. Fremtidige analyser bør derfor også undersøke pukkellaksens fordeling på en finere romlig skala.

Konklusjon – nåværende utbredelse

- Analysen av registreringene av pukkellaks i sportsfisket viser at det i stor grad er de samme mekanismene som forklarer pukkellaksens romlige fordeling i Norge i 2017 og i 2019.

- Elver nær riksgrensen til Russland (dvs. nært kjerneområdet), elver med stor vannføring og elver med store fangster av stedegen laksefisk hadde også store observasjoner av pukkellaks i begge årene.
- Betydningen av elvenes størrelse, beskrevet av middelvannføringen, var imidlertid mindre i 2019 sammenliknet med i 2017, og i tillegg mindre innenfor pukkellaksens nåværende kjerneområde i Norge (Troms og Finnmark) enn utenfor.
 - Dette kan være et resultat av generelt større rapporteringsvilje i 2019 enn i 2017 og ekstra fokus på overvåking og rapportering i Troms og Finnmark.
 - Det kan også indikere at det er mer tilfeldig i hvilke elver pukkellaksen ender opp i områder med mye pukkellaks (norske kjerneområdet), muligens drevet av artens tendens til feilvandring.
 - Alternativt er dette en del av invasjonodynamikken til pukkellaksen, hvor den først tiltrekkes og etablerer seg i de store elvene i en region, for så å etter hvert etablere seg i de mindre nabovassdragene.
- Fangsttinningsraten i vassdraget, beskrevet av antallet fangede stedegne laksefisk, har stor betydning for den registrerte utbredelsen og antallet pukkellaks. Bedre registrering av hvor pukkellaksen ikke forekommer er nødvendig for å bedre forståelsen om hva som påvirker pukkellaksens romlige fordeling i Norge.

Tabell 4. Resultater fra forklaringsmodeller for romlige fordelingen av pukkellaks i 2017. Merk at de presenterte koeffisientene er fra den lineære modellen for log-transformerte pukkellaksantall. N total angir det totale antall vassdrag i datasettet, N full angir antall vassdrag med observasjoner for de aktuelle variablene i full modell, N red. angir antall vassdrag i redusert (presentert) modell, mens ΔAIC angir til differansen i AIC mellom full og redusert (presentert) modell.

Troms og Finnmark					
N total	N full	N red.	ΔAIC		Koeff.
154	125	125	2	Skjæringspunkt	-0,37
				Avstand Russland	-0,0027 ***
				Vannføring	0,46 **
				Fangst laksefisk	0,48 ***
				Forkastede variabler	
				Avstand grunnlinja	
				Dybde estuariet	
				Temp. estuariet	
Resten av landet					
N total	N full	N red.	ΔAIC		Koeff.
1167	406	406	0	Skjæringspunkt	-4,01
				Avstand Russland	-0,0013 **
				Vannføring	0,65 ***
				Temp. estuariet	0,33 **
				Fangst laksefisk	0,4 ***
				Forkastede variabler	
				Dybde estuariet	
				Avstand grunnlinja	
Hele landet					
N total	N full	N red.	ΔAIC		Koeff.
1321	531	531	-2	Skjæringspunkt	-3,8
				Avstand Russland	-0,0021 ***
				Avstand grunnlinja	-0,0087 ***
				Vannføring	0,74 ***
				Temp. estuariet	0,47 ***
				Fangst laksefisk	0,4 ***
				Forkastede variabler	
				Dybde estuariet	

Signifikanskoder: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tabell 5. Resultater fra forklaringsmodeller for romlige fordelingen av pukkellaks i 2019. Merk at de presenterte koeffisientene er fra den lineære modellen for log-transformerte pukkellaksantall. N total angir det totale antall vassdrag i datasettet, N full angir antall vassdrag med observasjoner for de aktuelle variablene i full modell, N red. angir antall vassdrag i redusert (presentert) modell, mens ΔAIC angir til differansen i AIC mellom full og redusert (presentert) modell.

Troms og Finnmark					
N total	N full	N red.	ΔAIC		Koeff.
155	125	125	-4	Skjæringspunkt	-1,2
				Avstand Russland	-0,0029 ***
				Avstand grunnlinja	0,025 ***
				Fangst laksefisk	0,74 **
				Forkastede variabler	
				Vannføring	
				Dybde estuariet	
				Temp. estuariet	
				Salinitet estuariet	
Resten av landet					
N total	N full	N red.	ΔAIC		Koeff.
1167	406	406	-3	Skjæringspunkt	-3,7
				Avstand Russland	-0,0026 ***
				Vannføring	0,33 **
				Temp. estuariet	0,27 *
				Fangst laksefisk	0,63 ***
				Forkastede variabler	
				Dybde estuariet	
				Avstand grunnlinja	
				Salinitet estuariet	
Hele landet					
N total	N full	N red.	ΔAIC		Koeff.
1321	531	531	-4	Skjæringspunkt	-1,7
				Avstand Russland	-0,0034 ***
				Vannføring	0,51 ***
				Temp. estuariet	0,22 *
				Fangst laksefisk	0,59 ***
				Forkastede variabler	
				Dybde estuariet	
				Salinitet estuariet	
				Avstand grunnlinja	

Signifikanskoder: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Modelltilpasningen er bedre ved observasjoner av et større antall pukkellaks (**figur 2** nederste panel), men det er noen vassdrag som skiller seg ut med enten markant flere eller færre observerte pukkellaks enn forventet ut fra modellen i begge årene (**figur 2** øverste panel). De største avvikene i **figur 2** er vist i **tabell 6** og **7**.

Basert på sportsfiskefangstene i 2017 og 2019 er det henholdsvis seks og fire elver som, gitt deres beliggenhet og vassdragsegenskaper, hadde flere registrerte pukkellaks enn det som var forventet (predikert) fra modellen (**tabell 6** og **7**). Felles for disse elvene er at flesteparten ligger rundt Varangefjorden eller på Varangerhalvøya, dvs. i det norske kjerneområdet til pukkellaksen (nær Russland). I disse elvene ble det i tillegg til sportfisket gjennomført uttaksfiske eller drivtelling med store observasjoner av pukkellaks (**tabell 6**). De høyere enn forventede observasjonene fra sportfisket er dermed trolig reelle, og reflekterer at elvene ligger i et område med svært store forekomster av pukkellaks.

Tabell 6. Oversikt over elver i Troms og Finnmark som i 2017 hadde registrert flere eller færre pukkellaks i sportfisket enn forventet (predikert) fra modellen. Antall pukkellaks registrert i uttaksfiske og/eller drivtelling er angitt.

Flere registrert enn forventet 2017				
Vnr	Elv	Sportfiske	Predikert	Uttak/Driv
236.Z	Kongsfjordelva	49	32	405
239.Z	Komagelva	105	59	2273
239.3Z	Skallelva i Vadsø	90	35	196
241.5Z	Vesterelva i Nesseby	54	17	1670
244.Z	Neidenelva	183	84	60
247.Z	Grense Jakobselv	72	28	585
Færre registrert enn forventet 2017				
196.Z	Måselvassdraget	14	80	4
212.Z	Altaelva	32	122	7
240.Z	Vestre Jakobselv	22	112	257

Tabell 7. Oversikt over elver i Troms og Finnmark som i 2019 hadde registrert flere eller færre pukkellaks i sportfisket enn forventet (predikert) fra modellen. Antall pukkellaks registrert i uttaksfiske og/eller drivtelling er angitt.

Flere registrert enn forventet 2019				
Vnr	Elv	Sportfiske	Predikert	Uttak/Driv
227.5Z	Lille Porsangerelva	339	50	53
241.5Z	Vesterelva i Nesseby	269	110	1412
244.Z	Neidenelva	470	300	844
247.Z	Grense Jakobselv	179	26	50
Færre registrert enn forventet 2019				
212.Z	Altaelva	50	530	214
223.Z	Stabburselva i Porsanger	36	335	-
224.Z	Lakselva i Porsanger	95	609	65
225.Z	Børselva i Porsanger	46	211	35
240.Z	Vestre Jakobselv	246	366	420
241.Z	Bergebyelva	50	228	417

~12,8 og 4,2 m³/s) og munner ut i Varangefjorden. Fangsttallene fra uttaksfiske i disse to elvene tilsier at det faktiske antall pukkellaks i elva ikke reflekteres gjennom sportsfiskefangstene (**tabell 6 og 7**).

Tabell 8. Elver i Troms og Finnmark som i både 2017 og 2019 hadde registrert flere eller færre pukkellaks enn forventet (predikert) fra modellene.

Flere registrert enn forventet		2017		2019	
Vnr	Elv	Sportfiske	Predikert	Sportfiske	Predikert
177.3Z	Botnelva i Kvæfjord	18	1	46	3
241.5Z	Vesterelva i Nesseby	54	17	269	110
244.Z	Neidenelva	183	84	470	300
246.1Z	Sandneselva i Sør-Varanger	22	5	64	9
247.Z	Grense Jakobselv	72	28	179	26
Færre registrert enn forventet					
196.Z	Måselvassdraget	14	80	65	104
212.Z	Altaelva	32	122	50	530
223.Z	Stabburselva i Porsanger	6	25	36	335
224.Z	Lakselva i Porsanger	35	37	95	608
240.Z	Vestre Jakobselv	22	112	246	366
241.Z	Bergebyelva	2	30	50	228

Konklusjon - verifisering av modeller og identifisering av avvik

Inspeksjonen av forklaringsmodellene for elver i Troms og Finnmark i 2017 og 2019 identifiserte systematiske avvik mellom observert og forventet antall pukkellaks i elvene.

- Elver som munner ut i Varangerfjorden hadde i både 2017 og 2019, betydelig mer pukkellaks enn forventet fra en modell med kun avstand til Russland sjøveien som geografisk plasseringsvariabel. Dette resultatet støttes opp av observasjonen at elvene i dette området var blant de med de største registrerte fangstene på uttaksfiske i landet.
- Store elver (middelvannføring ~21,5 – 170,2 m³/s) lokalisert mellom Porsangerfjorden og Malangen hadde betydelig mindre pukkellaks enn forventet. Resultatet støttes delvis av lave registreringer fra uttaksfisket, men kan tyde på at det i disse elvene er utfordrende å observere pukkellaks.
- De store avvikene mellom observert og forventet antall pukkellaks fra modellen identifiserer at;
 - Elver som munner ut i Varangerfjorden er spesielt utsatt og hvor det forventes mye pukkellaks.
 - Store elver i Troms og Finnmark har trolig et mye høyere antall pukkellaks enn det som hittil er blitt registrert. Fangsttallsatsen i disse elvene må økes for å få en bedre oversikt over det faktiske antallet pukkellaks.

3.3 Forutse mulig fremtidig utbredelse

De tre prediksjonsmodellene basert på sportsfiskefangster av pukkellaks fra 2017 og 2019 gir stort sett det samme resultatet med hensyn på hvilke geografiske områder som vil kunne motta relativt sett mye eller lite pukkellaks (**figur 4**). Troms og Finnmark blir, naturlig nok, tydelig identifisert som et "hot-spot", noe som stemmer overens med pukkellaksens nåværende kjerneområde i Norge (Berntsen mfl. 2018, 2020). Utenfor dagens kjerneområde blir deler av Nordland og regionen Vestland til Agder også identifisert som områder hvor det kan forekomme større antall pukkellaks ("hot-spots"). I to av de tre modellene blir også Trondheimsfjorden identifisert til å kunne ha mye pukkellaks. Ytre kyststrøk som Lofoten og Vesterålen og Møre og Romsdal, samt Sør-Norge, fra Lindenes til svenskegrensa, blir alle identifisert som områder hvor det forventes å være lite pukkellaks ("cold-spots") (**figur 4**).

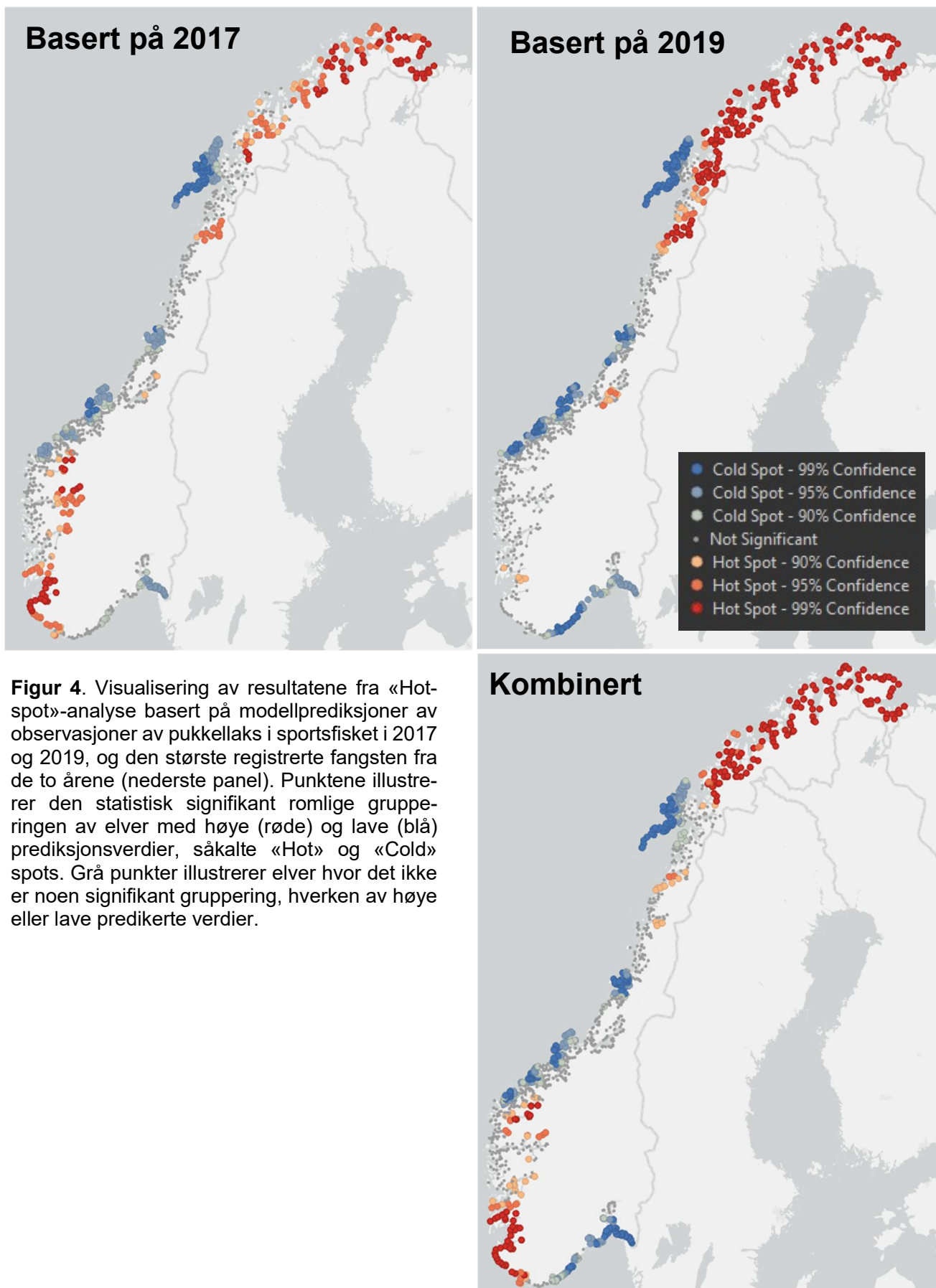
«Hot-spot» analysen identifiserer signifikant klyngedannelse basert på elvenes naboskap av høye og lave predikerte verdier, og viser ikke direkte den predikerte verdien for hver enkelt elv. Områdene som er såkalte "cold-spots" eller hvor det ikke er noen signifikant gruppering av hverken høye eller lave verdier, kan derfor likevel ha en eller flere elver med et høyt forventet antall pukkellaks som ikke vises i **figur 4**.

Det er viktig å påpeke at prediksjonsmodellene kun er basert på to års data fra Norge heftet med betydelig usikkerhet, og dermed basert på begrenset kunnskap om hva som bestemmer pukkellaksens tilstedeværelse i elvene. Det faktum at vi har fjernet den romlige komponenten i forklaringsmodellene (dvs. avstand til kjerneområdet i Russland/Barentshavet) vil føre til at de andre forklaringsvariablene får en større betydning (se **tabell V4** i vedlegg) enn det de ville hatt når avstand til kjerneområdet er inkludert. "Hot-spot"-analysen vil derfor i sum ikke reflektere antallet pukkellaks i en region, men identifisere regioner med de vassdrageegenskapene som modellen tilsier skal ha mye eller lite pukkellaks. Framtidsscenarioet som illustreres fra disse modellene (**figur 4**) må derfor tolkes med forsiktighet. Vi vil derfor ikke spekulere videre rundt hvilke egenskaper ved de ulike regionene som avgjør om de vil kunne motta mye eller lite pukkellaks i fremtiden.

Resultatene illustrerer et ekstremtilfelle og gir snarere en pekepinn på hvilke områder i Norge der det kan være nyttig å legge inn økt innsats for å kartlegge pukkellaksens tilstedeværelse i fremtiden. Det er trolig nærheten til områder der det var mye pukkellaks i 2017 og 2019 (dvs. Øst-Finnmark og Russland) som vil drive den videre utviklingen dersom det skjer en økning av antall pukkellaks i våre farvann.

Konklusjon – forutse fremtidig utbredelse

- Det begrensede datagrunnlaget fra kun to år antyder en flekkvis forekomst av pukkellaks, dvs. at elver som ligger nær hverandre i regioner der det er mye pukkellaks får stor forekomst.
- Modellene indikerer at området Troms ned mot Vesterålen vil få en videre økning i antall vassdrag med mye pukkellaks.
- En videre modellering av pukkellaksens forekomst og framtidig invasjon vil være avhengig av forbedret kvalitet på registreringsdataene.



4 Samlet konklusjon

- Analysen av sportsfiskefangster i 2017 og 2019 viser at det i stor grad er de samme mekanismene som forklarer pukkellaksens romlige fordeling i Norge.
- Elver nær riksgrensen til Russland (dvs. nært kjerneområdet), elver med stor vannføring og elver med store fangster av stedegen laksefisk hadde også store observasjoner av pukkellaks i begge årene.
- Betydningen av elvenes størrelse, beskrevet av middelvannføringen, på antallet registrerte pukkellaks var imidlertid mindre i 2019 sammenliknet med i 2017, og i tillegg mindre innenfor pukkellaksens norske kjerneområde (Troms og Finnmark) enn utenfor.
 - Dette kan være et resultat av generelt større rapporteringsvilje i 2019 enn i 2017 og ekstra fokus på overvåking og rapportering i Troms og Finnmark,
 - Resultatet indikerer at når pukkellaksen først er etablert i en region eller til stede i stor et stort antall, vil den kunne forekomme i relativt store antall i mange elver uavhengig av deres størrelse. Dette kan være drevet av artens tendens til feilvandring
- Inspeksjoner av forklaringsmodellene for 2017 og 2019 identifiserte systematiske avvik mellom observert og forventet antall pukkellaks i elvene og viser at;
 - Elver som munner ut i Varangerfjorden er spesielt utsatt og hvor det forventes mye pukkellaks.
 - Store elver i Troms og Finnmark (når Tanaelva er utelatt fra analysene) har trolig et mye høyere antall pukkellaks enn det som hittil er blitt registrert. Fangst-innsatsen i disse elvene må økes for å få en bedre oversikt over det faktiske antallet pukkellaks.
- På grunnlag av de data vi nå har for pukkellaks i norske elver, er det ikke mulig å forutse med noen grad av høy sikkerhet i hvilke elver og i hvilke regioner arten vil etablere seg dersom det skjer en videre økning av antall fisk som kommer til norske kystfarvann.
 - Prediksjonsmodeller indikerer at området i Troms ned mot Vesterålen vil få en videre økning i antall vassdrag med mange pukkellaks.
 - Det er trolig nærheten til områder der det var mye pukkellaks i 2017 og 2019 (dvs. Øst-Finnmark og Russland) som vil drive den videre utviklingen dersom det skjer en økning av antall pukkellaks i våre farvann.
- Fangst-innsatsen i vassdraget har stor betydning for den registrerte forekomsten og antallet pukkellaks. Bedre registrering av hvor pukkellaksen ikke forekommer er nødvendig for å få en bedre forståelse om hva som påvirker pukkellaksens romlige fordeling i Norge.

- En videre modellering av pukkellaksens forekomst og framtidig invasjon vil være avhengig av forbedret kvalitet på registreringsdataene, både fra Norge og Russland.

5 Referanser

Albretsen, J., Sperrevik, A.K., Staalstrøm, A., Sandvik, A.D., Vikebø, F. & Asplin, L. 2011. NorKyst-800 Rapport nr. 1. Brukermanual og tekniske beskrivelser. Havforskningsinstituttet, <https://imr.brage.unit.no/imr-xmlui/handle/11250/113865>

Artsdatabanken 2018. Fremmedartslista 2018. Lastet ned fra <https://www.artsdatabanken.no/fremmedartslista2018>

Sandlund, O.T., Berntsen, H.H., Fiske, P., Kuusela, J., Muladal, R., Niemelä, E., Uglem, I., Forseth, T., Mo, T.A., Thorstad, E.B. mfl. 2019. Pink salmon in Norway: the reluctant invader. *Biol. Invasions* 21, 1033-1054.

Berntsen, H.H., Sandlund, O.T., Ugedal, O., Thorstad, E.B., Fiske, P., Urdal, K., Skaala, Ø., Fjeldheim, P.T., Skoglund, H., Florø Larsen, B., mfl. 2018. Pukkellaks i Norge, 2017. In NINA Rapport 1571. Norsk institutt for naturforskning

Berntsen, H.H., Sandlund, O.T., Thorstad, E.B. & Fiske, P. (2020). Pukkellaks i Norge, 2019. NINA Rapport 1821. Norsk institutt for naturforskning.

Breiman, L., J.H. Friedman, J.H., Olshen, R.A. & Stone, C.J. 2017. Classification and regression trees. New York: Routledge. Chapter 4.

ESRI 2021a. Forest-based Classification and Regression (Spatial Statistics). <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/forestbasedclassificationregression.htm>

ESRI 2021b. Hot Spot Analysis (Getis-Ord G_i^*), <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/hot-spot-analysis.htm>

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. & Moore, R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. doi:10.1016/j.rse.2017.06.031

Hendry, A.P., Castric, V., Kinnison, M.T. & Quinn, T.P. 2004. The evolution of philopatry and dispersal: Homing versus straying in salmonids, s. 52-91 i A.P. Hendry & S.C. Stearns. *Evolution illuminated: Salmon and their relatives*. Oxford University Press, New York.

Hot Spot Analysis (Getis-Ord G_i^*), <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/hot-spot-analysis.htm>

Kartverket 2021., <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/dybdedata-kurvergeneraliserte/871960a1-0f01-4c47-8f79-5d338b65197e>

Lakseregisteret 2021. <https://lakseregisteret.fylkesmannen.no/>

Muladal, R. (2018). Registreringer av ungfisk fra pukkellaks i Finnmark - våren 2018. *Naturtjenester i nord*, Rapport 6: 2018.

Muladal, R. (2020). Registreringer av pukkellaksyngel i Troms og Finnmark 2020. Rapport 5 *Naturtjenester i nord*.

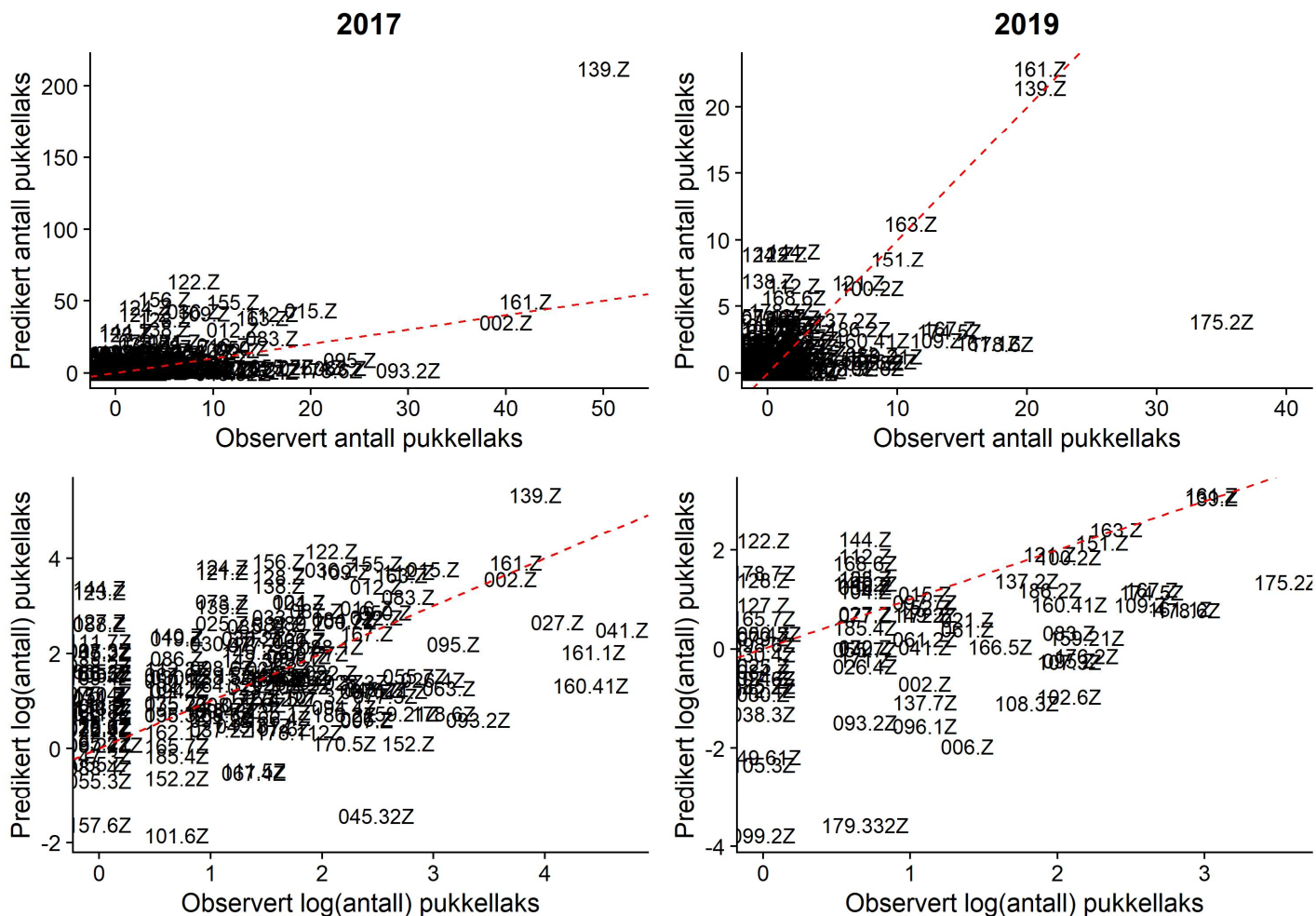
Nielsen, J., Rosing-Asvid, A., Meire, L., & Nygaard, R. (2020). Widespread occurrence of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) throughout Greenland coastal waters. *J. Fish Biol.* 96, 1505-1507.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Statistisk sentralbyrå, SSB, (2021), www.ssb.no

6 Vedlegg

Validering av modellene og identifisering av avvik - Resten av landet



Figur V1. Forholdet mellom observert og predikert antall pukkellaks fra modellene for resten av landet (tabell 3 og 4) i 2017 og 2019. Øverste panel viser forholdet mellom de to variablene på naturlig skala. Nederste panel viser forholdet mellom de to variablene på log-skala og illustrerer variasjonen slik den forekommer i de statistiske modellene. Hver elv er markert med NVEs vassdragsnummer. Den stiplede linjen illustrerer 1:1 forholdet mellom observert og predikert antall pukkellaks.

Tabell V1. Oversikt over elver i resten av landet (uten Troms og Finnmark) som i 2017 hadde registrert flere eller færre pukkellaks enn forventet (predikert) fra modellen. Antall pukkellaks registrert i uttakfiske og/eller drivtelling er angitt.

Flere registrert enn forventet 2017

Vnr	Elv	Sportfiske	Predikert	Uttak/Driv
026.4Z	Sokndalselva i Sokndal	20	4	-
063.Z	Ekso	23	4	82
093.2Z	Oselva i Syvde	30	2	-
095.Z	Ørstaelva	24	9	53
178.6Z	Gårdselvassdraget	22	2	-

Færre registrert enn forventet 2017

015.Z	Numedalslågen	20	43	-
112.Z	Surna	16	41	-
139.Z	Namsen	50	212	-
155.Z	Røssåga	12	49	-
163.Z	Saltdalsvassdraget	15	38	-

Tabell V2. Oversikt over elver i resten av landet (uten Troms og Finnmark) som i 2019 registrert flere eller færre pukkellaks enn forventet (predikert) fra modellen. Antall pukkellaks registrert i uttakfiske og/eller drivtelling er angitt.

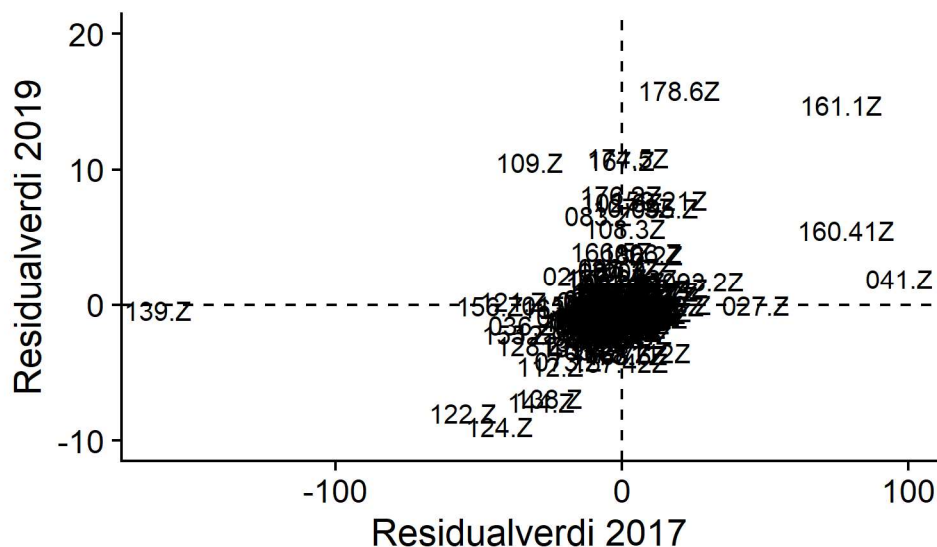
2019

Flere registrert enn forventet

Vnr	Elv	Sportfiske	Predikert	Uttak/Driv
109.Z	Drivavassdraget	13	2	-
161.1Z	Sundsfjordelva	17	2	-
167.Z	Kobbelvassdraget	14	3	-
174.5Z	Elvegårdselva	14	3	13
175.2Z	Bogenvassdraget	35	4	34
178.6Z	Gårdselvassdraget	18	2	-

Færre registrert enn forventet

122.Z	Gaula i Trøndelag	1	9	-
144.Z	Åelva i Bindal	2	9	-



Figur V2. Forholdet mellom residualverdier fra modellene for resten av landet (uten Troms og Finnmark) i 2017 og 2019. Elver i ruten nederst til venstre har i begge årene færre registreringer av pukkellaks enn forventet (predikert) fra modellene. Elver i ruten øvert til høyre har i begge årene flere registrerte pukkellaks enn forventet (predikert) fra modellene. De mest ekstreme av disse elvene er presentert i **tabell V3**.

Tabell V3. Oversikt over elver i resten av landet (uten Troms og Finnmark) som i både 2017 og 2019 hadde registrert flere eller færre pukkellaks enn foreventet (predikert) fra modellene.

Flere observert enn forventet		2017		2019	
Vnr	Elv	Sportfiske	Predikert	Sportfiske	Predikert
160.41Z	Spildervassdraget	82	4	8	3
161.1Z	Sundsfordelva	84	8	17	2
178.6Z	Gårdselvassdraget	22	2	18	2
041.Z	Etneelva	109	12	3	1
Færre observert enn forventet					
122.Z	Gaula i Sør-Trøndelag	8	64	1	9
138.Z	Årgårdsvassdraget	5	31	1	7
144.Z	Åelva i Bindal	1	29	2	9

Tabell V4. Resultater fra forklaringsmodeller for den romlige fordelingen til pukkellaks basert på registreringer i sportsfisket 2017 eller 2019, når avstand til Russland og temperaturen i estuariet er utelatt fra modellen. Merk at de presenterte koeffisientene er på log-skala. N total angir det totale antall vassdrag i datasettet, N full angir antall vassdrag med observasjoner for de aktuelle variablene i full modell, N red. angir antall vassdrag i redusert (presentert) modell, mens ΔAIC angir til differansen i AIC mellom full og redusert (presentert) modell.

Basert på sportsfiske 2017

N total	N full	N red.	ΔAIC		Koeff.
1321	393	393	-2	Skjæringspunkt	-2,1
				Vannføring	0,48 ***
				Avstand grunnlinja	-0,004 .
				Fangst laksefisk	0,57 ***
Forkastede variabler					
Dybde estuariet					
Salinitet estuariet					

Basert på sportsfisket 2019

N total	N full	N red.	ΔAIC		Koeff.
1321	394	394	-3	Skjæringspunkt	-1,19
				Vannføring	0,12 .
				Dybde estuariet	-0,23 *
				Fangst laksefisk	0,77 ***
Forkastede variabler					
Avstand grunnlinja					
Salinitet estuariet					

Største registrering i elv (2017 eller 2019)

N total	N full	N red.	ΔAIC		Koeff.
1321	531	531	-4	Skjæringspunkt	-1,7
				Vannføring	0,36 ***
				Dybde estuariet	-0,14 *
				Fangst laksefisk	0,61 ***
Forkastede variabler					
Avstand grunnlinja					
Salinitet estuariet					

Signifikanskoder: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Norsk institutt for naturforskning, NINA, er en uavhengig stiftelse som forsker på natur og samspillet natur–samfunn.

NINA ble etablert i 1988. Hovedkontoret er i Trondheim, med avdelingskontorer i Tromsø, Lillehammer, Bergen og Oslo. I tillegg driver NINA Sæterfjellet avlsstasjon for fjellrev på Oppdal, og forskningsstasjonen for vill laksefisk på lms i Rogaland.

NINAs virksomhet omfatter både forskning og utredning, miljøovervåking, rådgivning og evaluering. NINA har stor bredde i kompetanse og erfaring med både naturvitere og samfunnsvitere i staben. Vi har kunnskap om artene, naturtypene, samfunnets bruk av naturen og sammenhenger med de store drivkreftene i naturen.

2004

NINA Rapport

ISSN: 1504-3312
ISBN: 978-82-426-4782-5

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger