



Aqua reports 2026:2

Biologisk recipientkontroll vid Ringhals kärnkraftverk

– sammanfattande resultat av undersökningar fram till år 2023

Anders Adill, Filip Käll, Anna Lingman



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för akvatiska resurser

Biologisk recipientkontroll vid Ringhals kärnkraftverk - sammanfattande resultat av undersökningar fram till år 2023

Biological recipient control at the Ringhals nuclear power plant – compiled results of investigations until 2023

Anders Adill, <https://orcid.org/0009-0000-6717-5233>, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser,

Filip Käll, <https://orcid.org/0000-0002-9800-9673>, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser,

Anna Lingman, <https://orcid.org/0000-0001-8322-3266>, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser.

Rapportens innehåll har granskats av:

Jens Olsson, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser

Andreas Bryhn, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser

Finansiär: Ringhals AB, Dnr RAB 2538845 (SLU-ID: SLU.aqua.2024.5.1-378-5)

Rapporten har tagits fram på uppdrag av Ringhals AB. Rapportförfattarna ansvarar för innehållet och slutsatserna i rapporten. Rapportens innehåll innebär inte något ställningstagande från uppdragsgivarens sida.

Rekommenderad citering: Adill, A., Käll, F., Lingman, A. (2026). Biologisk recipientkontroll vid Ringhals kärnkraftverk - sammanfattande resultat av undersökningar fram till år 2023. Aqua reports 2026:2. Uppsala: Institutionen för akvatiska resurser.

<https://doi.org/10.54612/a.h9eqd03229>

Publikationsansvarig: Sara Bergek, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser

Redaktör: Stefan Larsson, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser

Utgivare: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser

Utgivningsår: 2026

Utgivningsort: Uppsala

Omslagsbild: Ringhals kärnkraftverk, Annika Nilsson

Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.

Serietitel: Aqua reports

Delnummer i serien: 2026:2

ISBN (elektronisk version): 978-91-8124-180-8

DOI: <https://doi.org/10.54612/a.h9eqd03229>

Nyckelord: kärnkraft, kylvatten, recipient, kontrollprogram, fisk, invasiva arter

Sammanfattning

Ringhals kärnkraftverk är en av Sveriges största elproducenter och har varit i kommersiell drift sedan 1975. Kraftverket bestod fram till 2019 av fyra reaktorer men två reaktorer har sedan avvecklats. Vid kraftverkets drift nyttjas betydande mängder havsvatten för kylning av processerna, ungefär 90 m³ per sekund. Havsvattnet tas in från närliggande kustområde via en kanal in till kraftverket. När kylvattnet pumpas tillbaka till havet har det värmts upp med cirka 10 grader. På grund av intag och utsläpp av kylvatten sker en påverkan på den omgivande kustvattenmiljön och dess organismer. Denna påverkan övervakas och analyseras i det pågående biologiska recipientkontrollprogrammet för kraftverket. Föreliggande rapport sammanfattar den långsiktiga utvecklingen av fiskesamhällena och främmande arter i det område som påverkas av nyttjande av kylvatten. Rapporten utvärderar dessutom kunskapsläget inom kontrollprogramverksamheten och presenterar förslag till utveckling för det biologiska recipientkontrollprogrammet.

Den mest påtagliga negativa effekten av kraftverkets drift på miljön och dess organismer sker i kylvattenintaget till kraftverket. Stora mängder ägg, larver och juvenila fiskar följer med i kylvattenströmmarna och dör i kraftverkets silstation. Den höga dödligheten gäller nästintill samtliga fiskarter som följer med kylvattnet och påverkar i olika grad de lokala kustfiskbestånden och arter som lever i havsområdena utanför Ringhals. Förlusterna av rödspätta (*Pleuronectes platessa*) i form av ägg och larver är omfattande och har haft en ökande trend sedan början av 2000-talet, och var som allra störst under åren 2019–2023. Utvecklingen i undersökningarna stämmer väl överens med beståndsutvecklingen i Västerhavet, där lekbiomassan av rödspätta har ökat under senaste decennierna och bedöms numera vara på historiskt höga nivåer. Omfattningarna av förlusterna av sillyngel (*Clupea harengus*) har historiskt varit stora, och under den senaste tioårsperioden har det förekommit år med särskilt höga tätheter. Enligt beräkningar uppskattas de årliga förlusterna av sillyngel motsvara en reduktion för de vuxna sillbestånden på omkring 200 ton per år. Dessa förluster får dock anses ha relativt små effekter för de totala bestånden i omgivande havsområden. Förekomsterna av ägg och larver för torsk (*Gadus morhua*) har varit relativt låga under hela 2000-talet och överensstämmer väl med de generellt svaga torskbestånden i Skagerrak och Kattegatt. Under provtagningarna 2019 och 2022 var dock förekomsterna ovanligt stora och möjligen kan data från kylvattenintaget visa en tendens till återhämtning av bestånden genom kraftiga förvaltningsåtgärder som införts. Glasål (*Anguilla anguilla*) har visats ha en relativt hög tolerans och överlever till stor del passagen genom kraftverket, och den negativa effekten på beståndet är sannolikt liten.

Utsläpp av uppvärmt kylvatten till kustområdet vid Ringhals ger tydliga effekter för fisk- och kräftdjursbestånd i recipienten. Vid utsläppspunkten är vattentemperaturerna betydligt varmare, cirka fem grader varmare jämfört med omgivande havsområden och skapar särskilda förhållanden. Det finns en tydlig skillnad i artsammansättning mellan recipientområdet för kylvatten och opåverkade referensområdet Vendelsö. Fiskarter och kräftdjur som gynnas av höga temperaturer förekommer i större utsträckning i recipienten för kylvatten jämfört med referensområdet, medan arter som föredrar svalare temperaturer skyr området under stora delar av året. Artdiversiteten i recipientområdet är generellt lägre jämfört med andra delar av kusten, och orsakas främst av stor dominans av enskilda arter som skärsnultra (*Symphodus melops*) och strandkrabba (*Carcinus maenas*). Utvecklingen för diversiteten i fiskesamhället har sedan undersökningarna inleddes varit negativ i både recipienten och referensområdet. Under de senaste åren finns tecken på att fiskesamhällena i recipienten och referensområdet Vendelsö har förändrats. En tydlig trend är att

andelen fiskarter högt upp i näringsväven (rovfiskar) minskar i omfattning medan mesopredatorer (fiskarter i mitten av näringsväven) ökar. Denna utveckling noteras dock inte vid provfiskena för april månad och beror till stor del på att tätheterna av torsk har ökat under denna del av året.

Fem områden, Ringhals kylvattenutsläpp, Norra Horta, Vendelsö och två lokaler i Båtafjorden, har inventerats kontinuerligt sedan kontrollen av främmande arter påbörjades 2011. Under de undersökta åren har sju främmande arter påträffats och mest talrik har japansk sargassotång (*Sargassum muticum*) varit. Tätheterna av främmande arter har varit störst vid Ringhals kylvattenutsläpp och i Båtafjorden. I referensområdet Vendelsö har förekomsterna av främmande arter varit i låga omfattningar, något som tyder på att det uppvärmda kylvattnet i utsläppsområdet gynnar etableringen av främmande arter.

De standardiserade provtagningarna med täta kontroller i kylvattenintaget ger bra data för beräkningar av de fiskförluster som sker under perioden januari till april. Undersökningarna har historiskt haft ett starkt fokus på kommersiellt viktiga arter såsom torsk, sill och rödspätta. Om undersökningarna skulle utökas och genomföras även under andra perioder under året skulle data inhämtas för andra kustnära fiskarter och få ett mer ekosystembaserat fokus. Övervakningen av förlusterna för exempelvis glasål skulle sannolikt ge bättre och mer tillförlitliga data om provtagningar genomfördes under sommarmånaderna juni och juli.

Undersökningarna med smårýssjor inom Ringhals recipientkontroll utgör en av Sveriges längsta provfiskeserier. Den standardiserade provfiskemetodiken har genomgått vissa revideringar och förbättringsåtgärder under tidsserien för att utveckla undersökningarna. Inom kustfiskövervakningen i Sverige har myndigheterna genomfört en översyn de senaste åren för att utvärdera de befintliga provfiskena längs Sveriges kust. I utvärderingen fastslogs att provfisket inom Ringhals recipientkontroll hade svagheter och skulle avsevärt förbättras om metodiken ändrades till den standardmetodik som finns för den nationella- och regionala övervakningen. Genom denna åtgärd skulle provfiskena ge bättre data och starkare analyser samt minska fiskmortaliteten i undersökningarna. För att undersöka eventuella fysiologiska effekter hos fisk i recipienten skulle provtagningar kunna införas i programmet, förslagsvis med ett upplägg likt recipientkontrollerna vid de andra svenska kärnkraftverken.

Summary

Ringhals Nuclear Power Plant is one of Sweden's largest electricity producers and has been in operation since 1975. Until 2019, the plant consisted of four reactors, but two of them have since been decommissioned. The operation of the plant nevertheless requires substantial amounts of seawater for cooling its processes. The seawater is taken from the nearby coastal area via a channel into the facility. When the cooling water is pumped back into the sea, it has been heated by approximately 10 degrees Celsius. Due to the intake and discharge of cooling water, there is a potential impact on the surrounding coastal marine environment and its organisms. This is monitored and analyzed through the ongoing biological recipient monitoring program.

The present report summarizes long-term trends in fish communities and the monitoring of non-native species in the surrounding area. It also evaluates the current state of knowledge within the monitoring operations and presents proposals for the development of the biological recipient monitoring program.

The most significant negative effect of the plant's operation occurs at the cooling water intake. Large quantities of eggs, larvae, and juvenile fish are drawn in with the cooling water and die in the plant's screening station. This high mortality affects nearly all fish species and negatively impacts in varying degrees the local coastal fish populations inhabiting the marine areas outside Ringhals.

Losses of plaice (*Pleuronectes platessa*) eggs and larvae have shown an increasing trend since the early 2000s, peaking during the years 2019–2023. This development aligns with other studies conducted in the Skagerrak, where spawning biomass of plaice is at historically high levels. Losses of herring (*Clupea harengus*) larvae have historically been substantial, and in the past decade, some years have shown particularly high densities. Estimates do however suggest that these losses may cause relatively small effects of adult herring stocks in surrounding marine areas by approximately 200 tons per year. Occurrences of cod (*Gadus morhua*) eggs and larvae have been relatively low throughout the 2000s, consistent with the generally weak cod stocks in the Skagerrak and Kattegat. However, during sampling in 2019 and 2022, occurrences were unusually high, possibly indicating a trend toward stock recovery due to strong management measures. However, glass eels (*Anguilla anguilla*) show relatively high tolerance and largely survive the process, and the negative effect on the stock is likely small.

The discharge of heated cooling water into the coastal area at Ringhals has effects on fish and crustacean populations in the recipient area. At the discharge point, water temperatures are significantly warmer compared to surrounding marine areas, creating distinct conditions. There is a clear difference in species composition between the cooling water impact area and the unaffected reference area at Vendelsö. Fish and crustacean species that thrive in warmer temperatures are more prevalent in the cooling water recipient area compared to the reference area, while species preferring cooler temperatures avoid the area for much of the year. The diversity of the fish community in the recipient area is generally lower compared to other parts of the coast, primarily due to the dominance of individual species such as corkwing wrasse (*Symphodus melops*) and shore crab (*Carcinus maenas*). Since the start of the investigations, the diversity trends have been negative in both the recipient and reference areas. In recent years, there are signs that fish communities in the recipient and reference area at Vendelsö have changed. A clear trend shows that the proportion of fish species high in the trophic levels (predatory fish) is decreasing, while mesopredators (mid-level species in the food web) are increasing. However, this trend is not observed in April, largely due to increased cod densities during that part of the year.

Five areas — Ringhals cooling water discharge, Norra Horta, Vendelsö, and two sites in Båtafjorden — have been continuously surveyed since the monitoring of non-native species began in 2011. Over the years, seven non-native species have been detected, with the most prominent being Japanese sargassum (*Sargassum muticum*). Densities of non-native species have been highest at the Ringhals cooling water discharge and in Båtafjorden. In the reference area at Vendelsö, occurrences of non-native species have been low, suggesting that the heated cooling water in the discharge area promotes the establishment of these species.

Standardized sampling with frequent monitoring at the cooling water intake provides good data for calculating fish losses during the January to April period. Historically, these investigations have focused strongly on commercially important species such as cod, herring, and plaice. If the investigations were expanded to include other periods of the year, data could be collected on other coastal fish species and provide a more ecosystem-based focus. Monitoring losses of, for example, glass eels would likely yield better estimates if sampling were conducted during the summer months of June and July.

The small fyke net surveys within the Ringhals recipient monitoring program constitute one of Sweden's longest fish sampling series. The standardized sampling methodology has undergone revisions and improvements over time to enhance the investigations. In recent years, Swedish authorities have reviewed existing coastal fish monitoring programs to evaluate their effectiveness. The review concluded that the fish sampling within the Ringhals recipient monitoring program had some weaknesses and would be substantially improved by adopting the standard methodology used

in national and regional monitoring. This change would yield better data, stronger analyses, and reduce fish mortality during investigations. To examine potential physiological effects on fish in the recipient area, sampling could be introduced to the program, preferably following a design similar to that of recipient monitoring at other Swedish nuclear power plants.

Innehållsförteckning

1. Bakgrund	9
1.1. Rapportens innehåll och syfte	9
1.2. Inledning	10
2. Kärnkraftverkets drift och miljöpåverkan	13
2.1. Kraftverkets drift	13
2.2. Effekter på omgivande miljö	15
2.2.1. Kylvattenvägarna	15
2.2.2. Kylvattenrecipienten	16
3. Aktuella undersökningar och metodik	18
3.1. Kylvattenintaget	19
3.1.1. Kontroll av fiskägg och – larver med Bongohåv	20
3.1.2. Kontroll av fiskyngel och juvenil fisk med Isaacs-Kidd-trål	20
3.1.3. Kontroll av utsläppstub från silstation	21
3.2. Kylvattenutsläppet	22
3.2.1. Kontroll av fisksamhället i recipientområdet	22
3.2.2. Inventering av främmande arter i recipientområdet	24
3.3. Analyser av data och statistiska metoder	26
4. Resultat	28
4.1. Effekter av kylvattenintaget på fiskägg och små fisklarver	28
4.1.1. Ägg och larver av plattfisk	28
4.1.2. Ägg och larver av torsk	29
4.1.3. Larver av sill	30
4.2. Effekter på fiskyngel, juvenil och adult fisk	32
4.3. Effekter på fisksamhällena vid kylvattenutsläppet och i omgivande kustområde	37
4.4. Främmande arter	47
4.5. Utvärdering provtagningsmetodik	52
4.5.1. Kylvattenintaget	52
4.5.2. Provfiske med smårýssjor	54
4.5.3. Kontroll av utsläppstuben	56

5. Diskussion.....	58
5.1. Kylvattenintaget	58
5.2. Kylvattenutsläppet	59
5.3. Utvärdering av provfiskena med ryssjor	61
5.4. Kontroll av utsläppstub	63
Referenser.....	64

1. Bakgrund

1.1. Rapportens innehåll och syfte

Ringhals kärnkraftverk är en av Sveriges största elproducenter och har varit i kommersiell drift sedan 1975 då reaktor 2 startade upp. År 1983 var kärnkraftverket fullt utbyggt och omfattade då elproduktion från totalt fyra reaktorer. Effekterna av kärnkraftverkets drift på omgivande kustekosystem har under åren kontinuerligt undersökts i ett biologiskt recipientkontrollprogram. Tyngdpunkten inom programmet har varit att följa utveckling och trender i de lokala fisksamhällena. Sedan år 2009 har programmet kompletterats med undersökningar av förekomster av främmande marina arter i kustmiljön i kärnkraftverkets närområde.

Denna rapport redovisar resultat från kontrollverksamheten inom det biologiska recipientkontrollprogrammet i kustområdet vid Ringhals kraftstation fram till år 2023, och sammanfattar trender i de lokala fisksamhällena samt förekomster av främmande invasiva arter i vattenmiljön. Syftet med föreliggande rapport är att sammanfatta kunskapsläget inom kontrollverksamheten samt att utvärdera det biologiska recipientkontrollprogrammet för Ringhals kärnkraftverk. Rapporten ger en ingående beskrivning av recipientkontrollprogrammet och utvärderar hur undersökningarna kan utvecklas för att säkerställa att insamlade data håller högsta kvalitet. Rapporten ska dessutom analysera djuretiska frågeställningar, om det exempelvis finns möjligheter att genomföra undersökningar med alternativ metodik för att minska antalet fiskar som dör. I den avslutande delen av rapporten presenteras även revideringsförslag för det biologiska recipientkontrollprogrammet, med syfte att utveckla undersökningarna så att de följer standardiserade och aktuella övervakningsmetodiker och genererar data för att bättre följa trender i kustmiljön utanför Ringhals kärnkraftverk.

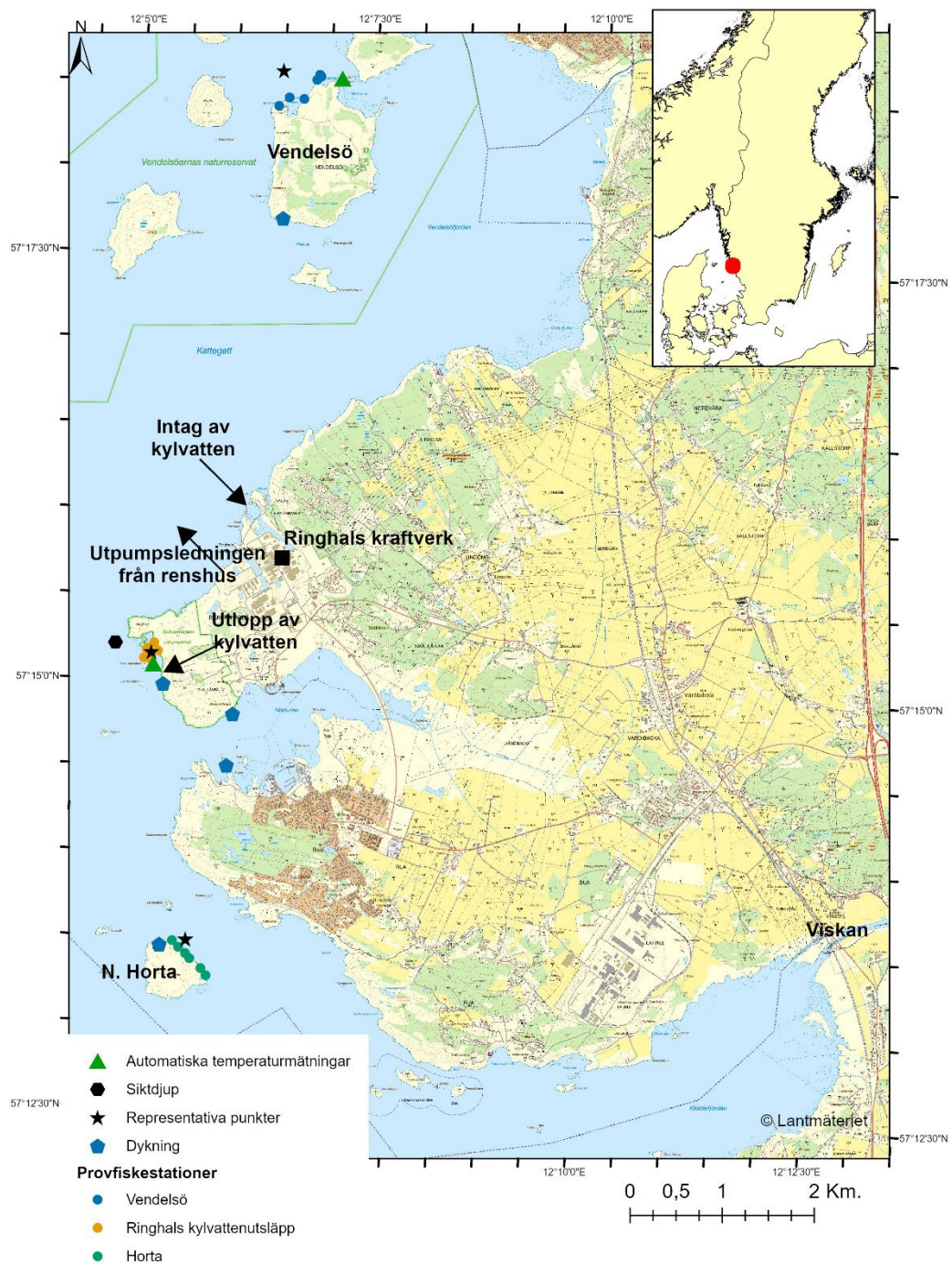
1.2. Inledning

Ringhals kärnkraftverk är beläget på Väröhalvön vid havsområdet Kattegatt, mellan Kungsbacka och Varberg (figur 1). Kärnkraftverket togs i drift 1975 och var fullt utbyggt med fyra reaktorer år 1983. År 2015 beslutades att två reaktorer skulle avvecklas i Ringhalsverken, och år 2019 stängdes Ringhals 2 och i slutet av år 2020 Ringhals 1. I dagsläget är endast reaktor 3 och 4 (R3 och R4) i drift och dessa producerade år 2023 cirka 13 TWh, vilket motsvarar ungefär 28 procent av Sveriges totala elproduktion från kärnkraft, och 8 procent av Sveriges totala elproduktion (<https://karnkraft.vattenfall.se/ringhals>).

Vid elproduktionen i kärnkraftverket krävs stora mängder havsvatten för kylning av processerna. Under normala driftsförhållanden sugs cirka 90 kubikmeter havsvatten per sekund in till kraftverket från Vendelsöfjorden via en kanal in till anläggningen (figur 1). Vattnet värms upp cirka tio grader innan det pumpas vidare via tunnelsystem ut i en gemensam utsläppspunkt i vattenområde väster om Ringhalshalvön. Kylvattenutsläppet till omgivande havsområde sker i sydlig riktning och vid utsläppspunkten har vattentemperaturerna de senaste åren varit cirka fem grader varmare jämfört med omgivande områden (Käll 2023; Jaktén Langert m fl 2024). Vid kylvattenutsläppet utgörs kuststräckan av öppet hav och ett fåtal skyddande skär. Kylvattnet sprids till omgivande havsområde och den avgörande avkylningen sker en kortare sträcka från utsläppspunkten när kylvattenströmmen passerat innanför de små skären sydväst om utsläppet (figur 1). Utformningen av kylvattenutsläppet innebär att uppvärmt kylvatten kan nå flera kilometer och ge en övertemperatur på 1°C i ett stort område omkring Ringhalshalvön (Ehlin 2009).

För att undersöka effekterna av kärnkraftverkets drift på omgivande miljö och studera hur kylvattenanvändningen påverkar organismerna i närområdet genomförs övervakningar i ett biologiskt recipientkontrollprogram. Det ursprungliga programmet fastställdes av Västerbygdens vattendomstol 1969 och har därefter gradvis reviderats för att uppfylla syftena. Kontrollprogrammets tyngdpunkt har varit att långsiktigt övervaka fisksamhällenas utveckling och sammansättning i kraftverkets närområde. Undersökningarna har genomförts både vid intagssidan för kylvattenintaget till kraftverket samt i utsläppsområdet av kylvatten. Under år 2009 tillkom en miljödom för främmande arter och sedan dess har programmet kompletterats med årliga inventeringar av fastsittande flora och fauna för att upptäcka eventuella främmande arter i kylvattenvägarna och i recipientområdet. Undersökningarna inom recipientkontrollprogrammet har under samtliga år som kraftverket varit i drift utförts av Kustlaboratoriet, som varit inordnat under olika statliga myndigheter. Sedan 2011 tillhör Kustlaboratoriet Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), institutionen för akvatiska resurser. Under åren 1991 till 2011 var Fiskeriverket huvudman och dessförinnan Naturvårdsverket.

Resultaten i det fortlöpande recipientkontrollprogrammet redovisas årligen i tekniska årsrapporter (Jaktén Langert m fl 2024; Käll m fl 2023). Med ungefär fem års mellanrum har fördjupade rapporter sammanställts, så kallade femårsrapporter, som inkluderar statistiska analyser och utvärderingar över ett längre tidsperspektiv (Thörnqvist m fl 1998; Fagerholm och Andersson 2005; Bergström m fl 2009; Andersson m fl 2015). En sammanställning av Grimås m fl 1988 omfattar perioden från dess att kraftverket togs i drift till och med år 1986. Den del som rör övervakning av eventuella utsläpp av radioaktiva ämnen från kraftverket hanteras i ett särskilt kontrollprogram och rapporteras årligen av Ringhals AB till Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM).

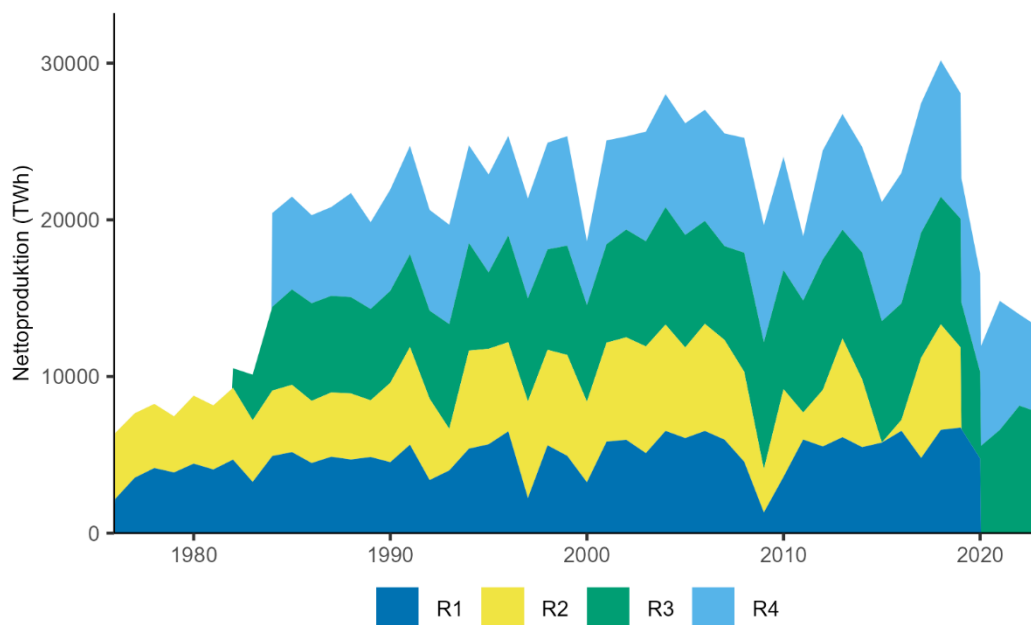


Figur 1. Översiktskarta med provfiskeområden vid Ringhals (recipientområde), Vendelsö (referensområde) och Norra Horta (delvis påverkat område), fem dyksområden för kontroll av främmande arter, intagskanalen för kylvatten, där provtagning sker av fiskägg och juvenil fisk, referenspunkt för siktdjup, automatisk temperaturmätning samt utpumpsledningen för återtransport av fisk och alger från kraftverkets silstationer till havet.

2. Kärnkraftverkets drift och miljöpåverkan

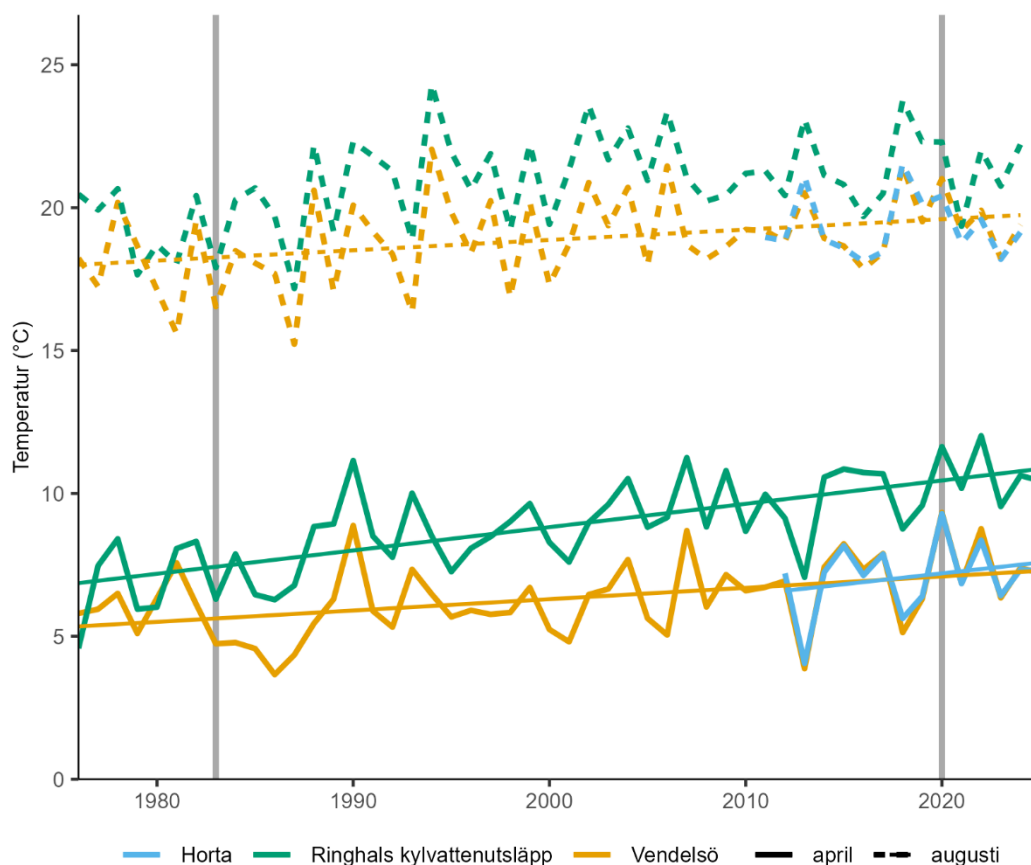
2.1. Kraftverkets drift

Sedan Ringhals kärnkraftverk var fullt utbyggt i början av 1980-talet fram till år 2020 omfattade produktionen fyra reaktorer. Under dessa driftår var produktionen i kraftverket successivt ökande och uppgick till den historiskt högsta noteringen under 2018 med 30 TWh (figur 2). Under normala driftsförhållanden pumpades cirka 170 m³/s kylvatten in till kraftverkets reaktorer via två kanaler från närliggande Vendelsöfjorden (Fagerholm m fl 2014). Det genomsnittliga flödet per reaktor var 44 m³/s i reaktor 1, 35 m³/s i reaktor 2, samt 43 m³/s vardera i reaktor 3 respektive 4. Vid kylningsprocesserna i aggregaten höjdes kylvattentemperaturerna i genomsnitt 10,3 °C innan det pumpades vidare ut från kraftverket via bergstunnlar till utsläppspunkten vid Stalpeskär (Andersson m fl 2015).



Figur 2. Den årliga nettoproduktionen i TWh uppdelat per reaktor under åren 1975–2023.

När nedläggningen av reaktorerna 1 och 2 var genomförda år 2020 innebar detta en ungefärlig halvering i produktionen för Ringhalsverken, och kylvattenbehovet till kraftverket minskade betydligt (figur 2). Vid dagens drift i Ringhals kärnkraftverk krävs omkring 90 m³/s havsvatten i samband med normal produktion och något lägre i samband med avställningar kopplade till revisionsarbeten i kraftverket. Vid kylvattenutsläppet sker en tydlig påverkan i ett relativt litet område med temperaturhöjning om cirka 2–4°C jämfört med närliggande havsområde (figur 3). Utblandningen av kylvattnet med omgivande havsvatten sker relativt kort efter utsläppet. Det varma vattnet sprider sig ofta som ett ytskikt på grund av lägre densitet än kallare vatten, och kan nå omkring 500–1000 meter från utsläppspunkten. Vid särskilda strömförhållanden kan dock det varma kylvattnet tidvis nå ner till cirka 10 meters djup (Grimås m fl 1988).



Figur 3. Medelvärde av temperaturer mätta vid botten vid vittjning av ryssjor i april och augusti i Ringhals kylvattenutsläpp, Vendelsö (1976–2023) och Horta (från och med augusti 2011–2023). De grå staplarna indikerar mellan vilka år alla fyra reaktorerna var i drift. De raka linjerna visar signifikanta trender.

2.2. Effekter på omgivande miljö

Havsvatten innehåller naturligt olika former av organismer som lever i den fria vattenmassan. I havsområdet vid Ringhalshalvön förekommer stora mängder djur- och växtplankton, maneter, fiskägg, fiskyngel och större fiskar som transporteras in till kraftverket med kylvattenströmmarna. Kylvattenintaget är utrustat med en avsilningsanläggning som effektivt filtrerar bort partiklar och organismer större än några millimeter. Mycket av det bortrensade materialet som fastnat i bandsilarna återförs till havet via en avloppstub som mynnar på cirka tio meters djup i området norr om kraftverket. De små organismerna som passerar silarna transporteras vidare med kylvattnet och utsätts för hastigt tryck- och temperaturhöjning innan de pumpas vidare i kylvattensystemen ut i utsläppsområdet.

I närområdet för kylvattenutsläppet sker en tydlig lokal uppvärmning av havsvattnet och skapar särskilda förhållanden. Temperaturförhållandena som skapas i recipienter av kylvattenutsläpp har tydlig påverkan på lokala organismsamhällen och har beskrivits i flertalet rapporter från kontrollverksamheten inom kärnkraftsindustrin (Andersson m fl 2016; Andersson m fl 2015; Adill m fl 2013). Eftersom uppvärmt kylvatten kan transporteras kilometervis från utsläppspunkten blir påverkansområdet stort och talrika organismer kommer i kontakt med vatten med förhöjd temperatur.

2.2.1. Kylvattenvägarna

Den stora mängden havsvatten som tas in för kylning av processerna i kärnkraftverk anses ha den största negativa effekten på omgivande miljö och dess organismer (Ehlin 2009). Undersökningar av planktonförluster i kylvattenvägar har visats vara omfattande. Omkring 50 % av samtliga djurplankton som förekommer i kylvatten försvinner vid passagen genom kraftverket. Störst dödlighet förekommer i kylvattentunnlarna mellan kraftverket och utsläppspunkten, och orsakas av de stora mängder musslor och andra filtrerande djur som etablerats och effektivt silar passerande partiklar i tunnelsystemen (Ehlin 2009). Känsligheten hos djurplankton för de snabba tryck- och temperaturförändringarna är dock liten i jämförelse och endast några få procent av organismerna dör av mekaniska skador som kan uppkomma i kylvattenvägarna.

Effekter på fisksamhällena i omgivande områden orsakade av kraftverkets drift utgörs både vid intags- och utsläppsidan av kylvatten. Vid intagssidan transporterar kylvattnet stora mängder fiskägg, fisklarver och små yngel in i kylvattensystemet där dödligheten är omfattande. Undersökningar som genomfördes i avsilningsstationerna under slutet av 1970-talet visade att de huvudsakliga förlusterna av fiskägg och larver av såväl ekologiskt som ekonomiskt viktiga arter förekom under vårarna. Det konstaterades bland annat att förekomsterna av ägg

från torsk och plattfiskar var riklig under denna period och att dödligheten var nästintill total vid kylvattenpassagen i kraftverket. Den extremt höga dödligheten i ägg- och larvstadium gäller sannolikt för samtliga fiskarter med pelagiska ägg och larver i området och tidigare visats påverka de lokala fiskbestånden negativt (Grimås m fl 1988). De lokala bestånden av stensnulta och rötsimpa har påvisats utsättas för en stor negativ påverkan från kylvattenflödena (Ehlin 2009). Det finns dessutom tydliga indikationer på att fiskförlusterna i kylvattenintaget påverkar fiskbestånd över ett större område. Under vinter och vår förekommer stora mängder torsk, rödspätta, sandskädda, skrubbskädda, sill och ål i provtagningarna i kylvattenkanalen, arter som i regel har stora utbredningsområden och kan härstamma från lekområden på relativt stora avstånd från kärnkraftverket. Detta tyder på att effekterna av kylvattenintaget påverkar ett större område än den omedelbara närmiljön.

En art som dock tycks vara relativt tålig för de extrema förhållandena som förekommer i kylvattenvägarna är ål. Förekomsten av glasål, larvstadiet för arten, undersöktes ingående efter de första årens drift i Ringhalsverken, och det noterades stora mängder i kylvattenintaget. Genom olika överlevnadsförsök på glasål upptäcktes att överlevnaden var relativt stor vid passage genom kylvattenvägarna (Andersson och Jacobsson 1980). Enligt beräkningar omfattar dödligheten hos glasål cirka 13 procent av de som passerar genom kylvattensystemet, men med tanke på att arten klassas som akut hotad är inte förlusterna försumbara och bör särskilt övervakas (Bryhn m fl 2014).

Samtliga fisklarver och större fiskar som fastnar i bandsilarna vid kylvattenintaget pumpas tillbaka till område nordväst om kraftverket (figur 1). Ett fåtal fiskarter, exempelvis ål och äkta tunga, kan till viss del klara denna behandling och återföras levande till havet (Grimås m fl 1988). Vid undersökningar som utfördes under åren 2007–2010 beräknades dödligheten av vuxen ål som hanterats på detta sätt till cirka 15 procent. Mindre resistenta fiskarter såsom sill, vitling och tobis klarar sannolikt hanteringen betydligt sämre och har små chanser att överleva (Andersson m fl 2011).

2.2.2. Kylvattenrecipienten

Det utgående uppvärmda kylvattnet påverkar kustområdets organismer på flertalet sätt. Den största effekten kylvattnet ger är att det skapar en onaturlig höjning i närområdets vattentemperatur. Fiskar och många andra vattenlevande organismer är växelvarma, vilket innebär att deras kroppstemperatur följer vattentemperaturen i omgivningen. De är i och med detta anpassade för att i så stor omfattning som möjligt flytta sig till temperaturförhållanden som är optimala för deras fysiologi. Hur en individuell fisk reagerar på en förhöjd vattentemperatur beror dels på dess genetiska egenskaper, dels på hur väl den är anpassad till sin lokala miljö (Wootton 1998). En del arter är så kallade varmvattenarter och söker sig till områden med

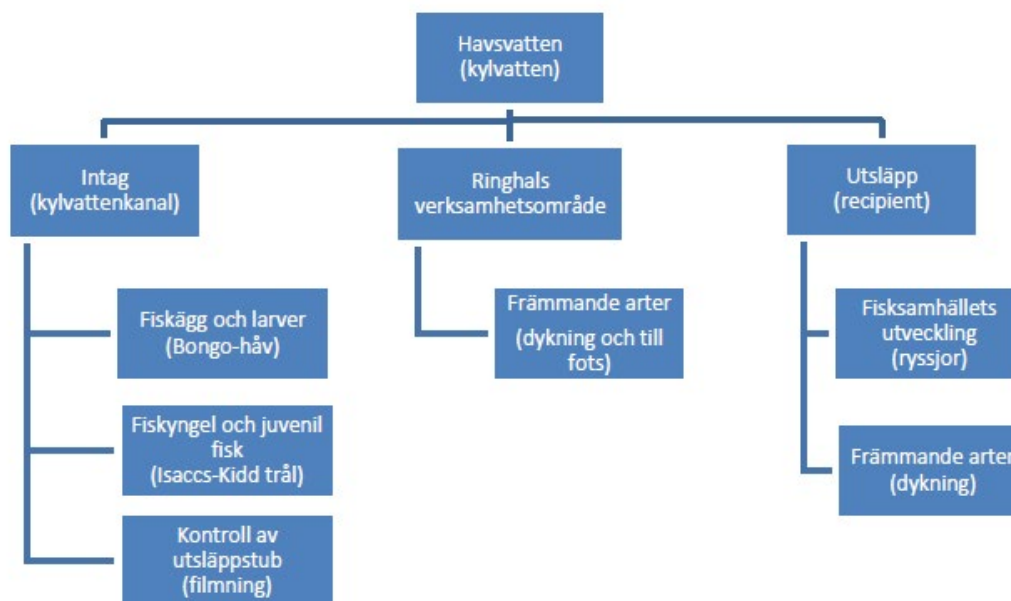
högre vattentemperatur under stora delar av året. Kallvattenarter, å andra sidan, kommer att undvika varmare vattenlager, till exempel de i kylvattenutsläppets närhet, under den största delen av året. Under sen höst och vinter är förhållandena nära kylvattenutsläppet dock gynnsamma för kallvattenarter, som då kan lockas till området (Ehlin m fl 2009).

Att somliga fiskarter ansamlas till utsläppsområdet under delar av året när vattentemperaturerna är som mest optimala kan påverka deras tillväxt och reproduktionsförmåga positivt, vilket i längden kan stärka de lokala bestånden (Ehlin m fl 2009). Det är dock långt ifrån samtliga fiskarter som gynnas av kylvattenutsläppet och det har påvisats att påverkansområdet i recipienten har generellt lägre artrikedom jämfört med närliggande områden med mer naturliga förhållanden. Detta återspeglas i dominans av ett fåtal arter som exempelvis ål och skärsnultra i recipienten, och samtidigt lägre förekomst av annars vanligt förekommande arter som torsk, tånglake, stensnultra och rötsimpa (Andersson m fl 2015). Det är inte enbart fisk som ansamlas till kylvattenutsläppet; även flertalet krabbor och kräftdjur förekommer rikligt i området. Strandkrabba är en art som föredrar varma vattenförhållanden och förekommer i stora mängder i påverkansområdet, och bidrar stort till lägre artrikedom vid kylvattenutsläppet.

Kylvattenutsläpp från kärnkraftsindustrin som skapar ett lokalt varmare klimat har identifierats som potentiella områden för etablering av främmande arter (Yanygina m fl 2010). I påverkansområdet för Ringhals kärnkraftverk har flertalet invasiva arter påträffats, främst olika arter av alger såsom rödsvansing (*Dasya baillouviana*), Sargassosnärja (*Sargassum muticum*) japantofs (*Bonnemaisonia hamifera*), japanplym (*Dasysiphonia japonica*) och japansk sargassotång (*Sargassum muticum*). Det förekommer även invasiva djurarter i utsläppsområdet som exempelvis stillahavsosttron (*Magallana gigas*) och blåskrabba (*Hemigrapsus sanguineus*). Fynden av dessa arter i recipienten utanför Ringhals ger indikationer på att området kan utgöra en spridningskälla för främmande och invasiva arter.

3. Aktuella undersökningar och metodik

Effekter av kärnkraftverkets drift för omgivande miljö och dess organismer undersöks och analyseras inom det biologiska recipientkontrollprogrammet. Programmet har sitt ursprung från beslut i tillståndsärendet i Vattendomstolen 1969, och har under åren reviderats för att uppfylla krav och syfte. Målsättningarna med programmet är att undersöka miljöpåverkan på marina miljöer som en följd av kylvattenanvändning, både gällande intags- och utsläpp (figur 4). Tyngdpunkten i undersökningarna har genom åren legat på att studera påverkan på de omgivande fisksamhällena, dels genom att kvantifiera förlusterna av fiskägg, larver och yngel i kylvattenintaget, men även genom att undersöka fiskbestånden i omgivande kustvatten med hjälp av standardiserade provfisker. Övervakning av främmande arter i Ringhals närområde infördes i recipientkontrollprogrammet år 2011 och genomförs årligen genom dykning i områden med olika påverkansgrad av kylvattenutsläpp; påverkat av uppvärmt kylvatten, måttligt påverkat av kylvattenutsläpp samt opåverkat område. Resultaten av undersökningarna sammanställs årligen i rapporter och presenteras vanligtvis under mars månad nästkommande år efter genomfört kontrollprogram. Årsrapporterna ingår sedan i en större sammanställning som Ringhals AB presenterar till tillsynsmyndigheten Länsstyrelsen Hallands län. Vid avrop från Ringhals AB kan även fördjupade rapporter genomföras med syfte att mer ingående analysera resultat och trender inom programmet.



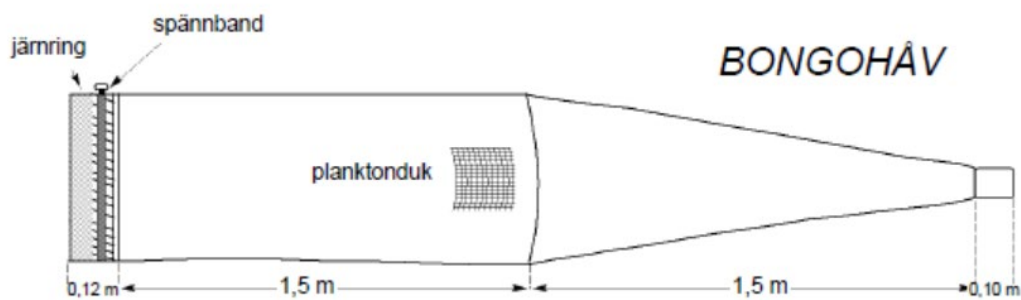
Figur 4. Schematisk bild för hur den biologiska recipientkontrollen i Ringhals är uppbyggd för undersökningar av fisk och främmande arter.

3.1. Kylvattenintaget

Direkta förluster av fisk i Ringhals kylvattensystem studeras genom provtagningar i intagskanalen för kylvatten. Undersökningarna utförs med två olika metoder för att beräkna mängden fisk som transporteras i kylvattenflödena, Bongohåv för att undersöka mängden ägg och larver, samt Isaacs-Kidd-trål för att skatta mängden fiskyngel och juvenil fisk (figur 5 och 6). Fram till år 2015 genomfördes kontrollerna i det gemensamma kylvattenintaget för reaktorerna 1 och 2, men ändrades till kylvattenintaget för reaktor 3 och 4 inför nedläggningen av de två första reaktorerna. Under de första åren av kraftverkets drift utfördes mer omfattande undersökningar av förlusterna i kylvattenintaget under samtliga årstider. Senare har kontrollen fokuserats på perioden från januari till april, vilket sammanfaller med den tid när de huvudsakliga förlusterna av såväl ekologiskt som ekonomiskt viktiga arter noteras (Grimås m fl 1988). Provtagning enligt den nuvarande utformningen har pågått sedan 1981 och är främst ägnad åt att övervaka förekomsten av pelagiska larver av ål (glasål), ägg och unga larver av torsk och plattfisk, samt större larver och yngel av sill (Andersson 1985). De stationära kustlevande arterna rötsimpa och tejstefisk återfinns också regelbundet i provtagningen, medan sommarlekande arter inte övervakas. En naturlig följd av att begränsa undersökningsperioden till en del av året är att de redovisade resultaten underskattar de totala årsförlusterna, framför allt av de arter som förekommer under andra delar av året.

3.1.1. Kontroll av fiskägg och – larver med Bongohåv

Fiskägg och fisklarver från vinterlekande arter samlas årligen in med hjälp av en Bongohåv med en maskvidd på 500 mikrometer (figur 5). Provtagningen sker sedan 2015 i kylvattenkanalen till reaktor 3 och 4, strax efter det att vattnet har passerat en fyra meter djup skumbalk, som blandar om vattnet i stort sett totalt ner till cirka tio meter. I håven fästes en varvräknare (*General Oceanics*), varvid man kan räkna ut vattenflödet under tiden för håvningen. Provtagningen utförs dagtid två gånger per vecka under januari till och med april. Vid varje tillfälle placeras håven i kylvattenkanalen och provtar ute 5–15 minuter. Insamlade ägg och larver bestäms så långt som möjligt till art eller närmast högre taxonomisk ordning. Som regel kan larver artbestämmas medan artbestämningen av ägg är mer osäker. I viss mån kan äggen artbestämmas på basen av sin storlek och vissa andra karaktärer, men när detta inte är möjligt mäts äggen och storleksklassificeras. Vid analysen beräknas tätheten av ägg och larver baserat på information från flödesmätaren, för att motsvara antal individer per 100 m³ vatten.



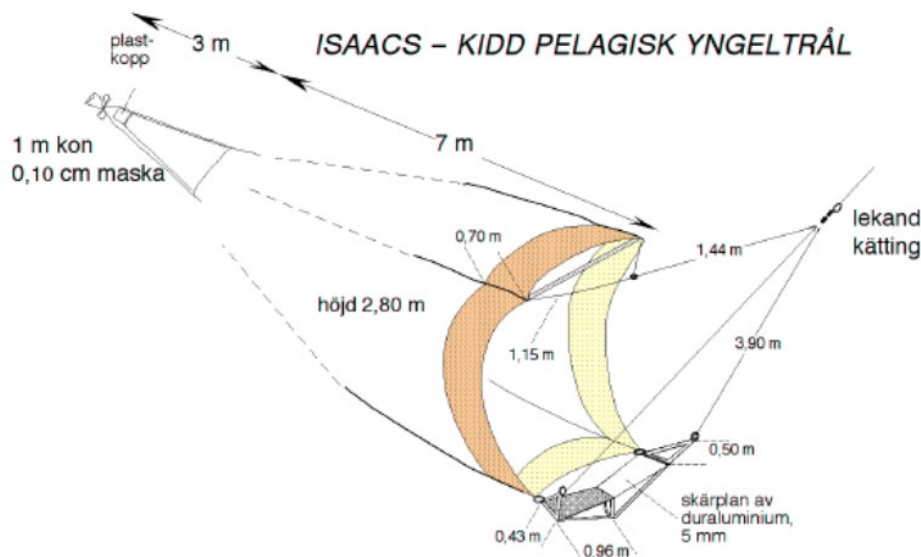
Figur 5. Skiss av Bongohåv

3.1.2. Kontroll av fiskyngel och juvenil fisk med Isaacs-Kidd-trål

Provtagning av fiskyngel och juvenil fisk utförs med en modifierad Isaacs-Kidd-yngeltrål med en maskvidd på 1,5 millimeter (figur 6). Trålen fästs vid samma plats som Bongohåven för provtagningen av larver och fiskägg. Provtagningen utförs normalt från 16.00 till 9.00 dagen därpå, två gånger i veckan under perioden februari till och med april. Antal provtagningar varierar från år till år eftersom trålen endast kan sättas i intagskanalen när vädret tillåter (vindar lägre än cirka 8 m/s). Fångsten sorteras och artbestäms så långt som möjligt till art eller till taxonomisk grupp. Alla individer inom en art eller en taxonomisk grupp vägs tillsammans och antalet individer räknas. I det fall det förekommer ett stort antal individer av en art vägs samtliga individer och därefter tas ett stickprov där antalet individer räknas och vägs, varefter totalantalet kan beräknas. Vid redovisning av resultaten korrigeras observerade värden med aktuella kylvattenflöden för att motsvara fångst

vid full drift. Resultaten redovisas som medelantalet individer per ansträngning (håvningstimme) enligt: $\frac{\text{Antal individer}}{(F_{\text{Fångst}}/F_{\text{max}})}$

där Antal individer är antalet individer vid fångstillfället, $F_{\text{Fångst}}$ är flödet vid fångstillfället och F_{max} är maximalt flöde ($90 \text{ m}^3/\text{s}$) i intagskanalen.



Figur 6. Skiss av Isaacs-Kidd-trål

3.1.3. Kontroll av utsläppstub från silstation

Grövre material och marina organismer som följer med i kylvattenströmmarna in till kraftverket sorteras ut i silstationen genom ett system av galler och filtreringssilar. Den sista avsilningen av kylvattnet sker med så kallade korgbandsilar med en maskvidd av fem millimeter. Samtliga större fiskar, växtmaterial, alger och andra marina organismer som fastnar i bandsilarna samlas i en uppsamlingsbassäng i renshuset. Sedan 1986 pumpas det material som fastnar i gallren tillbaka till havet via en tub som mynnar på cirka nio meters djup utanför kärnkraftverket (figur 7), delvis för att minimera dödligheten hos glasål.

För att få en visuell insyn i utsläppstubens effekter på närområdet filmas området kring tuben årligen i september- eller oktober månad med hjälp av en undervattensfarkost (ROV - Remotely Operated Vehicle) som styrs från ytan. Vid tolkning av filmen noteras förekomst av fiskar och sedimenterat material samt eventuella avvikelser som kan hänföras till utsläppet samt förekomst av vegetation och en uppskattning av dess sammansättning.



Figur 7. Bild på utsläppstubens mynning med en stensnutra i förgrunden. Runt mynningen syns även sjustrålig smörbult.

3.2. Kylvattenutsläppet

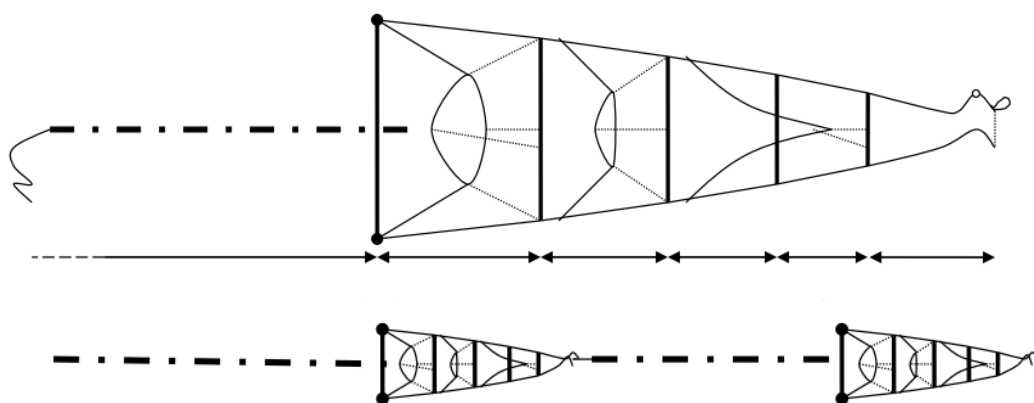
Effekter av kärnkraftverkets drift för omgivande fisksamhälle i recipientområdet studeras genom provfiske under en period på våren (april) och en period under sensommaren (augusti). Provfiskena genomförs i tre områden och inkluderar närrecipienten vid Ringhals kylvattenutsläpp (sedan 1974), referensområdet vid Vendelsö (sedan 1976) sju kilometer norr om utsläppsområdet, och sedan 2011 området vid Norra Horta, tre kilometer från kylvattenutsläppet (figur 1). Området vid Ringhals anses synnerligen påverkat av kylvattenutsläppet, medan området vid Vendelsö anses opåverkat av kylvattnet. Området vid Norra Horta anses vara ett måttligt påverkat område, som under vissa vind- och strömförhållanden kan förväntas få något förhöjda temperaturer på grund av kylvattenutsläppet.

Förekomster av fastsittande främmande arter i recipientområdet studeras genom standardiserade dykningsinventeringar under sommaren. Platserna som inventeras representerar kuststräckor inom en förväntad påverkansgradient av uppvärmt kylvatten, från cirka tvåhundra meter upp till fem kilometer från utsläppspunkten för kylvatten. Sedan 2016 har även inventeringar genomförts i kylvattenvägarna inne på kraftverket.

3.2.1. Kontroll av fisksamhället i recipientområdet

Fisksamhällena i omgivande kustområdet undersöks med standardiserat provfiske med ryssjor. Inledningsvis genomfördes provfiskena under hela kalenderåret men har med tiden anpassats och utformats med avseende för den kunskap som insamlats. De senaste åren har fångstområdena (Ringhals kylvattenutsläpp,

referensområdet Vendelsö och Norra Horta) undersökts med sex stationer där varje station provfiskas med två enkelryssjor kopplade samman strut i arm (figur 8). Ryssjorna sätts vinkelrätt ut ifrån land med ledarmen närmast land och med andra ryssjans fiskhus ytterst. Det genomsnittliga djupet vid medelvattenstånd är cirka en meter vid den inre ledarmen och 5–6 meter vid den yttersta delen. Ryssjorna placeras på stationen mellan klockan 07 och 10 och vittjas dagen efteråt vid samma tidpunkt för att uppnå ett dygns ansträngning (Thoresson 1996). Under provfiskeperioden ska totalt nio stycken ett-dygnsansträngningar genomföras för varje station. Provfiskena genomförs under två perioder under året, i april månad för att i första hand övervaka utvecklingen hos kallvattenarter och en period i augusti för att i första hand övervaka varmvattenarter. Vid provfisketillfällena registreras temperatur och salthalt (‰) vid botten intill redskapen för varje station i samband med sättning och vittjning. Vid en central punkt för varje fångstområde registreras omgivningsdata i form av temperatur och salinitet vid vattenytan samt siktdjup. Vindriktning och vindhastighet estimeras även vid samma punkt.



Figur 8. Översiktsbild av en ryssja med ledarm (övre bild). På varje station länkas två ryssjor ihop kopplade samman strut i ledarm (nedre bild).

Vid fångsthanteringen artbestäms samtliga fiskar, krabbor och kräftdjur och kontrolleras med avseende på synliga sjukdomstecken eller skador. Längdmätning (1-centimeterklasser) och vägning (kilogram med tre decimaler) sker för varje art per station, och förekommer flera individer av samma art registreras den totala vikten (Thoresson 1992). Samtliga data registreras i databasen KUL. I de årliga rapporteringarna redovisas resultaten utförligt för de vanligast förekommande, samt ur ekonomisk eller biologisk synpunkt mest intressanta arterna.

Artdiversiteten i provfiskena kvantifieras genom Shannon-Wieners diversitetsindex. Shannon-Wieners index beskriver diversiteten i fisk- och kräftdjursamhället baserat på antalet fisk- och kräftdjursarter och hur mängden fisk och kräftdjur fördelar sig mellan olika arter enligt formeln: $H = -\sum [p_i \times \ln(p_i)]$,

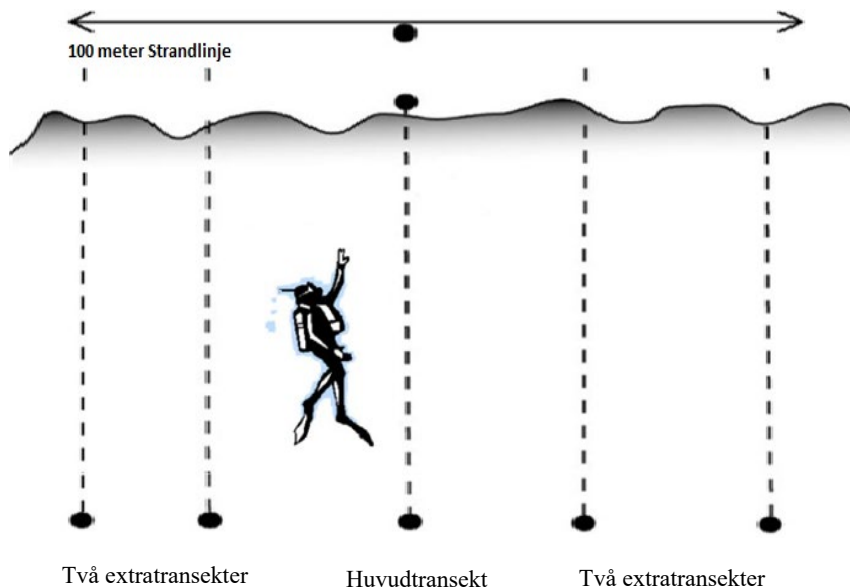
där H är indexets värde, p_i är antalet individer per art dividerat med det totala antalet individer, och $\ln$ är den naturliga logaritmen (Shannon, 1949). Ett högre värde på Shannon-Wieners diversitetsindex anger ett högt antal arter och en jämn fördelning mellan olika arter. Ett lägre index indikerar i stället att arterna förekommer ojämnt, så att en art är påtagligt mer dominerande än övriga arter, eller att antalet arter överlag är lågt.

Ett annat mått som används för att beskriva djursamhällens struktur och funktion är trofisk medelnivå. Den trofiska medelnivån (mean trophic level, MTL) är ett index som speglar förhållandet mellan fiskar som har olika födoval i fisksamhället (Pauly m fl 1998). Varje fiskart har tilldelats ett värde som speglar dess nivå i födoväven (Froese m fl 2004). De enskilda arternas trofiska värden samt förekomster i fångsterna sammanvägs till ett trofiskt index för hela fångsten, enligt formeln: $L = \frac{\sum_j TL_j \times Y_{ij}}{\sum Y_j}$, där TL är den trofiska nivån för en enskild art, Y är fångsten av den specifika arten, i är antalet arter och j är enskilda arter. Ett högt värde för den trofiska medelnivån innebär en stor andel fiskätande fisk, ett medelhögt värde innebär dominans av djurplankton- eller bottendjursätande fisk, och ett lågt värde innebär en stor andel växtätande fisk. Den trofiska medelnivån beräknas på medelvärden av antal fiskar per ryssja och dygn (catch-per-unit-effort, CPUE) och innefattar enbart fisk.

3.2.2. Inventering av främmande arter i recipientområdet

Förekomsten av fastsittande främmande arter inventeras varje år under sommaren, vanligtvis i juni månad, med standardiserade dykinventeringar i recipientområdet. Tre lokaler undersöks årligen; Utsläppsområdet som är påverkat av uppvärmt kylvatten, Norra Horta som är delvis påverkat av uppvärmt kylvatten, samt referensområdet Vendelsö som är opåverkat. Vartannat år genomförs även inventeringar på ytterligare två lokaler, Båtafjorden, norra och södra delen, som båda är delvis påverkade av uppvärmt kylvatten. I kylvattenvägarna inne på Ringhals kärnkraftsanläggning genomförs även mer omfattande kontroller av främmande arter, genom dykningar i svallbassängen T2 och till fots i huvudkylvattentunneln R4 när den är tömd på vatten i samband med revisionsavställningar på kraftverket.

Dykundersökningarna genomförs för att inventera fastsittande flora och fauna på botten för att söka efter, och uppskatta mängder av främmande arter. Varje lokal utgörs av en strandsträcka på 100 meter där en mittlinje markeras med hjälp av måttband. Utifrån mittlinjen sätts en huvudtransekt vinkelrätt ut i vattnet som är 50 meter lång. Ytterligare två transekter om 50 meter slumpas ut på vardera sidan om huvudtransekten, vilket totalt blir fem transekter (figur 9).



Figur 9. Schematisk bild över hur dyktransekterna var upplagda på en dykplats, en 50–100 m lång huvudprofil i mitten av en strandsträcka på 100 m. Vid sidan av huvudprofilen fyra slumpade transekter.

Inventeringarna inleds med dykningar längs huvudtransekten där bottensubstrat noteras kontinuerligt samt en uppskattning av täckningsgrad för samtliga arter på botten i en korridor av fyra till fem meter. Fynden registreras tillsammans med avstånd från land och vattendjup där varje väsentlig förändring i artsammansättning eller bottenstruktur har skett. Två dykare arbetar i bredd och antecknar parallellt protokoll under karteringens samtliga dyk, för att senare jämföra sina värden på land. Den enskilda dykarens bedömning blir vanligtvis en viss del subjektiv och svårigheter uppstår särskilt på platser där förekomsten av arter varierar fläckvis eller där arter påträffas i lager som påväxt. Det krävs goda artkunskaper samt cirka tio dyktillfällen tillsammans innan olika dykare skriver jämförbara protokoll (Naturvårdsverket 2004). Svårbestämda arter fotograferas i fält eller samlas in i nätpåsar för närmare bestämning under stereolupp på laboratorium.

Täckningsgrad av alger uppskattas och klassificeras utifrån en sjugradig skala; 100 procent (heltäckande med endast små luckor); 75 procent (ej heltäckande men klart mer än hälften av botten täckt); 50 procent (cirka hälften av botten täckt); 25 procent (klart mindre än hälften, men klart bältesbildande); 10 procent (mer än enstaka exemplar men inte upp till en fjärdedel); 5 procent (fler än en enstaka individ men knappt täckande ytor); 1+ enstaka individer har observerats (Kautsky 1999).

Längden på de fyra extratransekterna som slumpats ut inom dykområdet parallellt med huvudtransekten mäts, precis som huvudtransekten, med hjälp av ett måttband. Skillnaden vid dessa transekter är att enbart främmande alger samt bältesgränser dokumenteras. Förekomsten av invasiva främmande arter utmed dessa transekter registreras enligt en tregradig skala där; 1 är enstaka förekomst, 2

är allmänt förekommande, och 3 är dominerande. Sträckan utefter måttbanden indelades i sektioner om 5 meter med separat skattning av täckningsgrad och angivelse av vattendjup. För varje noterad art längs huvudtransekten beräknas ett medelvärde av täckningsgrad där arten förekommer. Medelvärdet av täckningsgrad används sedan för att ange om artens förekomst är enstaka (1 = täckningsgrad < 5 %), vanlig (2 = täckningsgrad > 5 % och < 10 %) eller talrik (3 = täckningsgrad > 10 %). Varje inventerad lokal anges en position samt fotograferas. Omgivningsdata för lokalen, vindriktning, vindstyrka, vattenstånd, transekternas kompassriktning samt avstånd från landmarkering noteras.

3.3. Analyser av data och statistiska metoder

Insamlade fångstdata inom provfiskena med ryssjor används i analyserna för att följa utvecklingen i fisk- och kräftdjurssamhällena, samt för att undersöka effekterna av kylvattenutsläppen på populationerna av fisk och kräftdjur i recipientområdet. Analyserna baseras framför allt på årsmedelvärden av antal fiskar per ryssja och natt (CPUE). Datatransformeringar och uträkningar av variabler som CPUE, Shannon-Wieners diversitetsindex och trofisk medelnivå är gjorda med R (R core team, 2025). De statistiska analyserna är utförda i R statistics (linjära regressioner, nMDS, Oksanen J m fl 2025) och IBM SPSS Statistics (linjära regressioner, variansanalys och icke-parametriskt test). Linjär trendanalys på logaritmerad data har använts för att fastställa om det funnits en signifikant riktad utveckling över tid (trend). För alla beräkningar har endast data från ostörda stationer använts. Med störning menas att fiskeredskapet blivit kraftigt påverkat av någon extern faktor så att det kan antas att det inte fiskat med normal effektivitet. Ett exempel på detta är störning från säl, då en eller flera sälar förstör ryssjorna så att de fångade fiskarna och skaldjuren kan ta sig ur redskapen. Analyser för utveckling över tid för CPUE av enskilda arter och indikatorer har även jämförts mellan områden genom variansanalys.

Skilnader i fiskesamhällets artsammansättning som helhet studerades genom nMDS-analys (*non metric multidimensional scaling*). Analysen används för att ge en bild över hur fångsten skiljer sig mellan fångstområden, fiskeperiod (vår och sommar) och mellan år. I analysen relateras olika provtagningstillfällen till varandra genom ett likhets-index. Vi har använt Bray-Curtis index, som beaktar dels vilka arter som förekommer i fångsten, dels hur vanliga de är. Likheten mellan provfisketillfällena åskådliggörs sedan i en graf, så att de tillfällen som är mest lika varandra att ligga nära varandra medan tillfällen som är mer olika varandra ligger på ett större avstånd från varandra. Representationen av likheter är flerdimensionell, men projiceras på två axlar. För att illustrera hur bra visualiseringen fungerar anges ett s.k. 2D-stressvärde. Generellt anger stressvärden under 0.15 att sambandet mellan punkter kan åskådliggöras tillfredsställande i två dimensioner. Analysen har

baserats på information om antal av varje art per ryssja och natt i medeltal per område, säsong och år, angivet som $\log(x+1)$ -transformerade värden. Arter som endast fångats i mindre än 5 procent av det totala antalet provfisketillfällen, och arter som inte varit primära målarter för redskapet har inte ingått i analyserna.

För trender och statistiska skillnader användes den inom statistiken vedertagna 95 procents konfidensnivån.

4. Resultat

4.1. Effekter av kylvattenintaget på fiskägg och små fisklarver

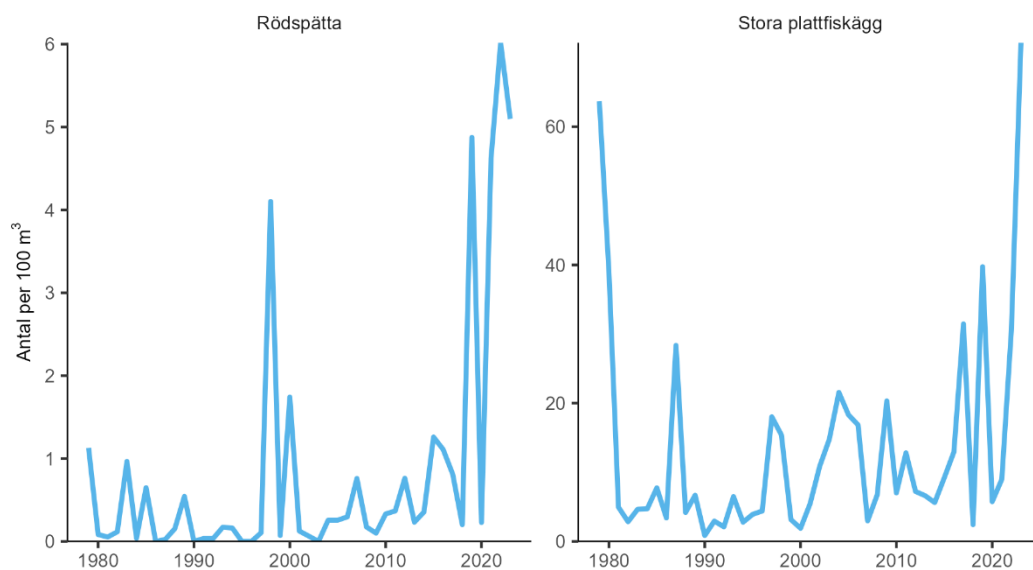
Förlusterna av fisk i kylvattenintaget för Ringhals kärnkraftverk utgörs främst av fiskägg, -larver och -yngel. Sedan undersökningarna inleddes på slutet av 1970-talet har en stor andel av de kustnära fiskarter som lever i Västerhavet påträffats i kylvattenintaget (tabell 1). Flertalet fiskarter som dör i kylvattenintaget utgörs av kommersiellt viktiga arter, som omfattas eller tidigare har omfattats av ett betydande kommersiellt fiske. Förlusterna av dessa arter, exempelvis torsk, skrubbskädda, sill och rödspätta, är av särskilt intresse och ska beräknas och följas upp. Det förekommer även ekologiskt viktiga arter varav många är stationära och lever kustnära i Ringhalsområdet. De arter som särskilt redovisas i rapporten är sådana arter som förekommer i större antal och/eller är av större ekologisk och ekonomisk betydelse. Samtliga fiskarter som ingår i undersökningarna presenteras i tabell 1, både allmänt kända arter och arter som sannolikt är okända för allmänheten såsom tångsnärta, spetsstjärtat långebarn och ringbukar.

4.1.1. Ägg och larver av plattfisk

Förlusterna av rödspätta i form av ägg och larver har en ökande trend i kylvattenintaget sedan början av 2000-talet och omfattningarna har varit som allra störst mellan åren 2019–2023 (figur 10). Det förekommer stora variationer i förlusterna mellan olika år, men det är tydligt att rödspätta har blivit vanligare under de senaste åren. Utvecklingen för de totala förlusterna av rödspätta i kylvattenintaget överensstämmer även med resultat i andra nationella och internationella fiskundersökningar. I internationella provfisketrålningar ("International Bottom Trawl Survey", IBTS och "Baltic International Trawl Survey", Bits) samt genom landningsdata från yrkesfisket visar resultaten att lekbiomassan för rödspätta har ökat markant sedan 2009 (ICES 2024). I dagsläget är lekbiomassan för rödspätta på historiskt höga nivåer i Kattegatt och den generella

beståndsutvecklingen har exempelvis medfört ett ökande yrkesfiske efter arten de senaste åren (www.fiskbarometern.se).

De totala förlusterna för övriga plattfiskarter utgörs framför allt av arterna skrubbskädda och sandskädda. Utvecklingen för förlusterna av skrubbskädda i kylvattenintaget har varit ökande sedan undersökningarna inleddes, och mängden larver är relativt stort jämfört med larver av andra arter (tabell 1). Beståndsutvecklingen i omgivande havsområde för skrubbskädda visar på hög lekbiomassa under åren 1985–1995 samt även mindre toppar under åren 2008 och 2015. Sedan 2015 har det noterats en jämn eller något negativ utveckling för lekbeståndet i området. Den generella beståndsutvecklingen för skrubbskädda i Kattegatt är dock svår att koppla till undersökningarna i Ringhals kylvattenintag.



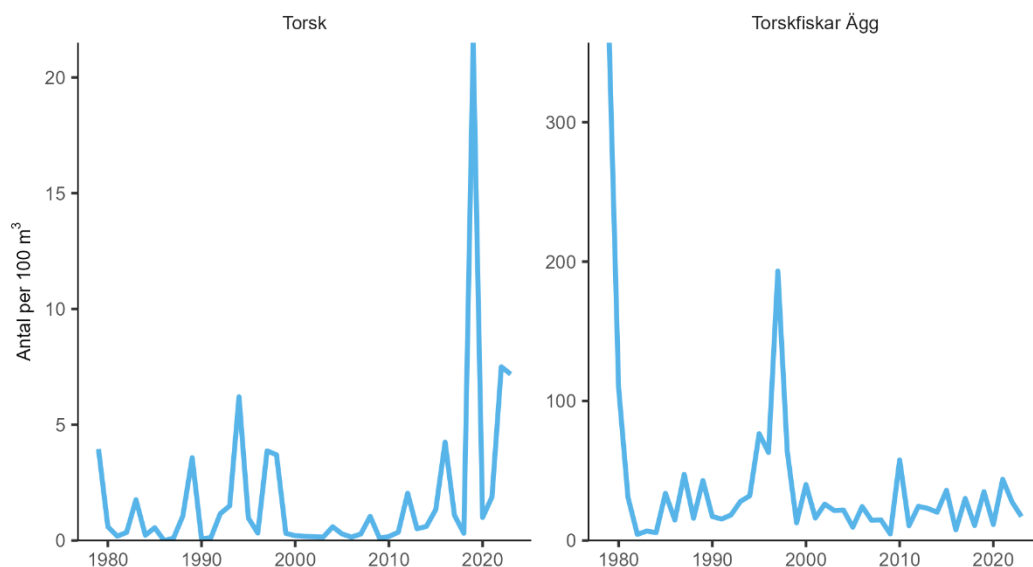
Figur 10. Förekomsten (medelantal per 100 m³ vatten) av rödspätteägg och stora plattfiskägg fångade med Bongohåv i kylvattenkanalen åren 1979–2023. Observera de olika skalorna på y-axlarna.

4.1.2. Ägg och larver av torsk

Förekomsterna av torskfiskars ägg i kylvattenintaget har legat på relativt låga nivåer under hela 2000-talet med små mellanårsvariationer jämfört med perioden under 1980- och 90-talet (figur 11). Det finns inga tecken på omfattande lekaktiviteter av torsk i havsområdet utanför Ringhals under de senaste tre decennierna, och det förekommer inga provtagningsår i undersökningarna under 2000-talet med särskilt stora förluster av torskägg. Förlusterna av torsklarver visar likt tidsserien för torskägg små omfattningar men det finns en tendens för positiv utveckling sedan sekelskiftet (figur 11). Under åren 2019 och 2022 var omfattningarna av torsklarver ovanligt stora och betydligt mer jämfört med de under hela tidsserien. Under de

senaste åren har dock mellanårsvariationen varit stor och en tydlig trend går inte att utläsa.

Resultaten i undersökningarna av torskäggs och -larver stämmer väl överens med den generella utvecklingen för torskbeståndet i Kattegatt. Utvecklingen av torskbeståndet följs bland annat genom provfisketrålningar med svenska forskningsfartyget R/V Svea ("International Bottom Trawl Survey", IBTS) och genom andra standardiserade provfisketrålningar. Resultaten har visat på en tydlig minskning av torskbeståndet sedan slutet av 1990-talet och nivån för lekbiomassan på torsk har varit historiskt lågt de senaste åren (www.fiskbarometern.se; torsk 2024). De plötsliga höga tätheterna av torsk-larver som registrerades i kylvattenintaget under 2019 kunde inte ses i någon av trålningsundersökningarna. Lekområdena för torsk i Kattegatt är kända, men de historiskt viktiga områdena längs Hallandskusten verkar inte längre nyttjas av torsken (www.fiskbarometern.se; torsk 2024). Till följd av det svaga torskbeståndet förekommer exempelvis inget kommersiellt yrkesfiske numer efter arten i Kattegatt.



Figur 11. Förekomsten (medelantal per 100 m³ vatten) av torsk-larver (t.v) och torsk-ägg (t.h) fångade med Bongohäv i kylvattenkanalen åren 1979–2023. Observera de olika skalorna på y-axlarna.

4.1.3. Larver av sill

De totala förlusterna av sill-larver i kylvattenintaget har under provtagningsperioden ökat i omfattning och varit störst de senaste åren (tabell 1). Från att förlusterna varit relativt små från början av 1980-talet fram till 2015, har större mängder larver

noterats under åren 2016, 2019, 2022 och 2023. Det har varit stora mellanårsvariationer i mängden sillarver i kylvattenintaget de senaste åren, och det finns en ökande trend för tätheterna av sill i området sett över hela provtagningsperioden (tabell 1). Den sill som fastnar i Bongotrålen under provtagningsperioden är framför allt avkomor från höstlekande sillbestånd i närliggande havsområde. Enligt beståndsuppskattningarna för vårlekande sill i Kattegatt har arten minskat drastiskt sedan mitten på 2000-talet och numer är beståndet långt under nivåerna för att klassas som livskraftigt och för att ett riktat kommersiellt fiske ska tillåtas. Det minimala yrkesfiske efter sill i Kattegattområdet bidrar sannolikt till att höstlekande sill påverkas positivt och det är möjligt att de höga fångsttopparna de senaste åren i data från kylvattenintaget speglar detta.

Tabell 1. Arter fångade vid provtagning av fisklarver med Bongohåv under åren 1979–2023. Arterna kusttobis (*Ammodytes tobianus*) och havstobis (*Ammodytes marinus*) är svåra att särskilja och har slagits samman vid provtagningarna. Även torskfiskar som inte kunnat artbestämmas har slagits samman. För varje art anges medelvärden (antal per 100m³) av summan per år för hela perioden och för den senaste tioårsperioden samt om statistiskt säkerställda förändringar har inträffat under respektive period. Grön färg indikerar en positiv trend under motsvarande period. Tomma celler betyder att arten inte fångats under aktuell period.

Art / taxon	Vetenskapligt namn	1979 - 2023	2014 - 2023
Skrubbskädda	<i>Platichthys flesus</i>	6.57	23.09
Rötsimpa	<i>Myoxocephalus scorpius</i>	6.53	7.50
Tobis (kust-/havs-)	<i>Ammodytes spp.</i>	2.56	7.08
Tejstefisk	<i>Pholis gunnellus</i>	2.15	1.96
Torsk	<i>Gadus morhua</i>	1.85	4.66
Sandskädda	<i>Limanda limanda</i>	1.84	6.00
Sill	<i>Clupea harengus</i>	0.98	3.23
Rödspätta	<i>Pleuronectes platessa</i>	0.85	2.46
Plattfisk obestämd	<i>Pleuronectidae</i>	0.78	
Oxsimpa	<i>Taurulus bubalis</i>	0.29	0.54
Skarpsill	<i>Sprattus sprattus</i>	0.27	0.65
Större ringbuk	<i>Liparis liparis</i>	0.20	0.02
Obestämd fiskart		0.17	0.15
Spetslångebarn	<i>Lumpenus lampraeformis</i>	0.15	0.21
Tångringbuk	<i>Liparis montagui</i>	0.14	0.33
Tångsnärta	<i>Chirolophis ascanii</i>	0.11	0.09
Obestämd sillfisk	<i>Clupeidae</i>	0.09	0.09
Havstobis	<i>Ammodytes marinus</i>	0.07	
Lerskädda	<i>Hippoglossoides platessoides</i>	0.06	0.11
Smörbult obestämd	<i>Gobiidae</i>	0.05	0.16
Femtömmad skärlånga	<i>Ciliata mustela</i>	<0.01	0.04
Klarbult	<i>Aphia minuta</i>	<0.01	
Tångsnälla	<i>Syngnathus typhle</i>	<0.01	0.02
Fyrtömmad skärlånga	<i>Enchelyopus cimbrius</i>	<0.01	<0.01
Torskfiskar	<i>Gadidae</i>	<0.01	<0.01

Havskatt	<i>Anarhichas lupus</i>	<0.01	
Vitling	<i>Merlangius merlangus</i>	<0.01	<0.01
Bergskädda	<i>Microstomus kitt</i>	<0.01	<0.01
Nordlig skärlånga	<i>Ciliata septentrionalis</i>	<0.01	<0.01
Gräsej	<i>Pollachius virens</i>	<0.01	

4.2. Effekter på fiskyngel, juvenil och adult fisk

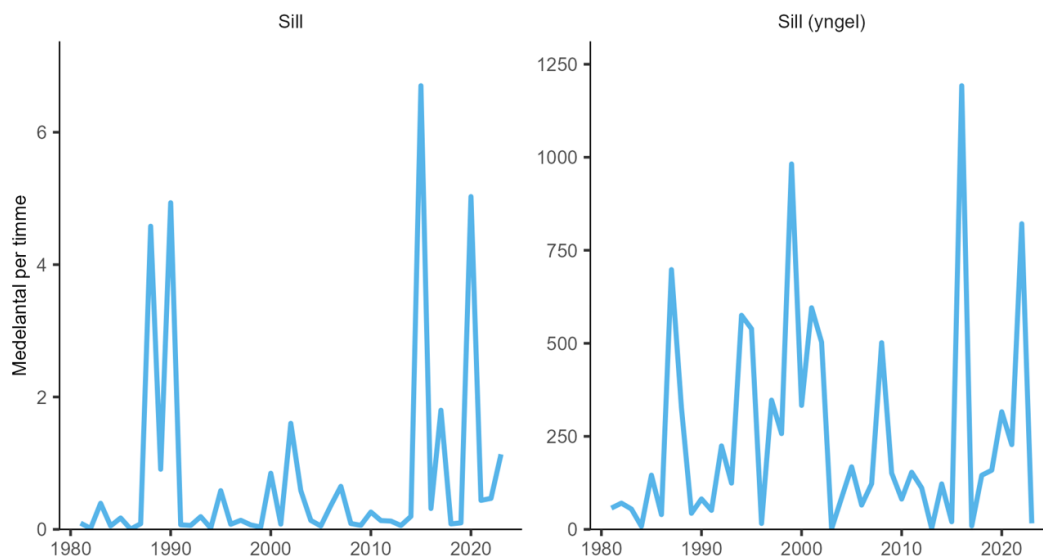
Undersökningar med Isaacs-Kidd yngeltrål ger en överblick på de mer utvecklade stadierna av fiskarterna som förs in med vattnet till kylvattenintaget för Ringhals jämfört med provtagningar med Bongohåv. Här presenteras förekomst och trender över tid för de arter som har registrerats i kylvattenintaget för Ringhals 1 och 2 fram till 2016, och reaktor 3 och 4 från 2016 fram till 2023. Sedan provtagningarna inleddes 1981 med nuvarande metodik har sammanlagt 75 olika taxa registrerats. Vissa av dessa kan omfatta grupper av närbesläktade arter såsom kust- och havstobis som är svåra att särskilja. Utöver dessa förekommer även fem taxa där arterna inte kunnat artbestämmas fulländligt. För ål registreras livsstadierna glasål och gulål som separata taxa. I medeltal har 36 taxa observerats årligen och artrikedomen har ökat över tid (tabell 2).

Sill (yngel) och klarbult har historiskt varit de starkt dominerande arterna i undersökningarna under provtagningsperioden, följda av glasål, storspigg, tobis och sandstubb (tabell 2). I undersökningarna har elva arter negativ utveckling sedan 1981, framför allt glasål och storspigg. Av samtliga arter är det endast fyra som har en positiv utveckling varav klarbult och torsk är två av dem. Den positiva trenden för torsk följer inte den generella beståndsutvecklingen för torsk i Kattegatt och syns heller inte inom undersökningarna av ägg och larver. Under den senaste tioårsperioden finns inga arter som uppvisar någon riktad trend i undersökningarna.

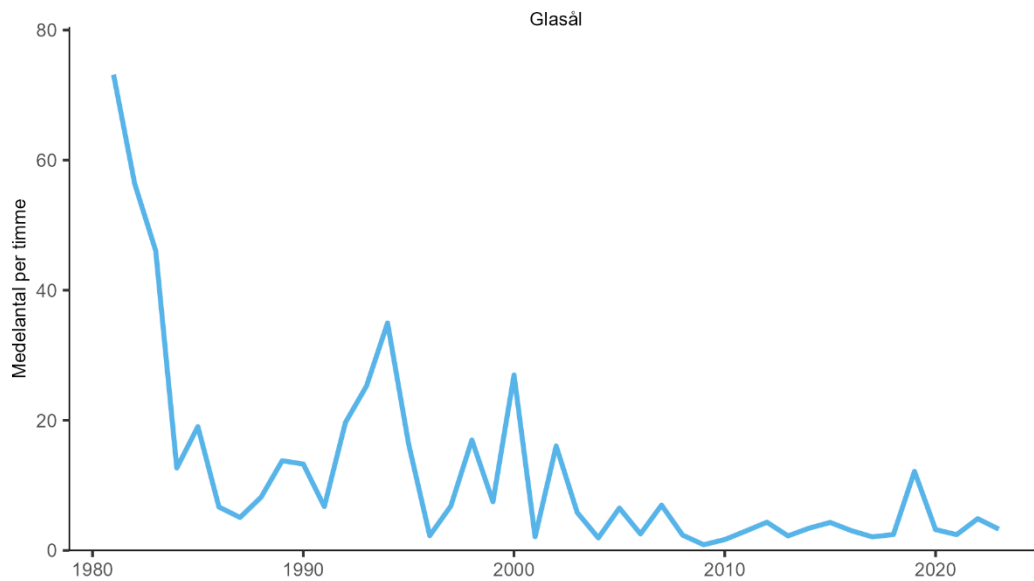
Sill har varit den art som förekommit mest i provtagningarna med Isaacs-Kidd yngeltrål (tabell 2). Arten representeras till övervägande del av larver från höstlekande sill, sannolikt med ursprung från närliggande lekområden i Kattegatt och områden i Skagerrak och Nordsjön. Förekomsterna av sillarver i kylvattenintaget varierar kraftigt mellan år, utan signifikant trend över den studerade tidsperioden (figur 12). Likt resultaten i undersökningarna med Bongotrål förekommer specifika år den senaste tioårsperioden med särskilt höga tätheter av sill i Isaac-Kidd-trålen. Förlusterna av sill i kylvattenintaget medför relativt små negativa effekter för bestånden i omgivande havsområden och enligt tidigare använda beräkningsmodeller omfattas förlusterna av sillyngel till hundratals ton per år, om de i stället skulle tillåtas att växa upp och bli vuxna individer (Andersson m fl 2015). Under den senaste sexårsperioden (2018–2023) beräknas utslagningen av sillarver uppgå till mellan 0,4 och 25 miljoner individer per år, vilket skulle omfatta beståndsförluster på vuxen sill till drygt 200 ton per år. Vid jämförelser av

förlusterna före och efter nedläggningen av R1 och R2 går det inte urskilja trender om att minskat kylvattenflöde skulle påverkat mängden sillyngel som förloras i kylvattenintaget (figur 12).

Utvecklingen av förekomsterna av glasål i undersökningarna visar på stark nedåtgående trend av beståndet sedan 1980-talet (figur 13). Förlusterna av ål var relativt omfattande i kylvattenintaget under 1980- och 90-talet men har sedan dess legat på låga nivåer. Trenderna för glasål i undersökningarna följer den generella beståndsutvecklingen för ål i Sverige och övriga Europa (ICES 2023). I den internationella beståndsanalysen utförd av ICES arbetsgrupp WGEEL visar exempelvis att glasålsrekryteringen år 2022 och 2023 var de lägsta som någonsin rapporterats. Under hela 1900-talet har ålen mer eller mindre kontinuerligt minskat i Sverige till dagens rekordlåga nivåer, trots omfattande förvaltningsåtgärder och särskilda åtgärdsplaner. Eftersom rensmassorna pumpas tillbaka till havet och största andelen glasål överlever behandlingen, utgör driften i Ringhals kärnkraftverk sannolikt en liten del av dödligheten hos det europeiska ålbeståndet som sträcker sig över Europa, Nordafrika och asiatiska delarna av Medelhavet.



Figur 12. Förekomsten av juvenil sill (vänster) och sillyngel (höger) under februari–maj åren 1981–2023. Värden är angivna som medelantal per timme omräknat till fångst vid maximalt kylvattenflöde. Observera de olika skalorna på y-axlarna.



Figur 13. Förekomsten av glasål i två av kylvattenkanalerna under februari–maj, 1981–2023. Värden är angivna som medelantal per timme omräknat till fångst vid maximalt kylvattenflöde.

Tabell 2. Arter fångade vid provtagning av fiskyngel och juvenil fisk med Isaacs-Kidd-trål under åren 1981–2023 samt tioårsperioden 2014–2023. För varje art anges ett medelvärde under motsvarande som justerats för att motsvara det antal individer som skulle ha fångats per timme (en ansträngning) vid maximalt kylvattenflöde. Trendanalys har gjorts under respektive period för de arterna som har fångats 80 % av åren för hela tidsserien. Grön färg indikerar en positiv trend under motsvarande period, medan orange indikerar en negativ trend. Tomma celler betyder att arten inte fångats under aktuell period.

Art /taxon	Vetenskapligt namn	1981 - 2023	2014 - 2023
Sill (yngel)	<i>Clupeidae</i>	245.26	302.97
Klarbult	<i>Aphia minuta</i>	96.56	126.71
Glasål	<i>Anguilla anguilla</i>	11.98	4.12
Storspigg	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	8.63	1.21
Tobis (kust-/havs-)	<i>Ammodytes spp.</i>	6.31	3.70
Sandstubb	<i>Pomatoschistus minutus</i>	5.82	1.98
Rötsimpa	<i>Myoxocephalus scorpius</i>	2.45	0.09
Rödspätta	<i>Pleuronectes platessa</i>	1.72	0.09
Tobis (yngel)	<i>Ammodytidae</i>	1.42	6.07
Mindre kantnål	<i>Syngnathus rostellatus</i>	1.10	2.41
Sill	<i>Clupea harengus</i>	0.79	1.63
Skarpsill	<i>Sprattus sprattus</i>	0.67	0.80
Tånglake	<i>Zoarces viviparus</i>	0.41	0.21
Skrubbskädda	<i>Platichthys flesus</i>	0.39	0.32
Tobiskung	<i>Hyperoplus lanceolatus</i>	0.38	1.59
Bergstubb	<i>Pomatoschistus pictus</i>	0.29	1.23
Torsk	<i>Gadus morhua</i>	0.24	0.48
Sjustrålig smörbult	<i>Gobiusculus flavescens</i>	0.19	0.30
Tejstefisk	<i>Pholis gunnellus</i>	0.19	0.09
Havskatt	<i>Anarhichas lupus</i>	0.14	0.02
Sjurygg	<i>Cyclopterus lumpus</i>	0.11	0.08
Laxsill	<i>Maurolicus muelleri</i>	0.10	0.09
Tobisfisk obestämd	<i>Ammodytidae</i>	0.10	0.42
Småspigg	<i>Pungitius pungitius</i>	0.10	0.02
Tångsnälla	<i>Syngnathus typhle</i>	0.09	0.18
Svart smörbult	<i>Gobius niger</i>	0.06	0.09
Gulål	<i>Anguilla anguilla</i>	0.06	0.08
Skäggsimpa	<i>Agonus cataphractus</i>	0.05	0.03
Större kantnål	<i>Syngnathus acus L.</i>	0.05	0.07
Stensnultra	<i>Ctenolabrus rupestris</i>	0.05	0.07
Spetslångebarn	<i>Lumpenus lampraeformis</i>	0.04	
Tångspigg	<i>Spinachia spinachia</i>	0.04	0.02
Femtömmad skärlånga	<i>Ciliata mustela</i>	0.04	<0.01
Sandskädda	<i>Limanda limanda</i>	0.03	0.02
Tångsnärta	<i>Chirolophis ascanii</i>	0.03	<0.01
Nors	<i>Osmerus eperlanus</i>	0.02	0.03
Fyrtömmad skärlånga	<i>Enchelyopus cimbrius</i>	0.02	0.09
Skärsnultra	<i>Symphodus melops</i>	0.01	0.02
Tunga	<i>Solea solea</i>	0.01	<0.01
Större havsnål	<i>Entelurus aequoreus</i>	0.01	0.01
Vitling	<i>Merlangius merlangus</i>	0.01	<0.01
Tjockläppad multe	<i>Chelon labrosus</i>	0.01	0.05
Mindre havsnål	<i>Nerophis ophidion</i>	0.01	0.02

Art /taxon	Vetenskapligt namn	1981 - 2023	2014 - 2023
Flodnejonöga	<i>Lampetra fluviatilis</i>	<0.01	0.02
Bergskädda	<i>Microstomus kitt</i>	<0.01	<0.01
Randig sjökock	<i>Callionymus lyra</i>	<0.01	<0.01
Havsnejonöga	<i>Petromyzon marinus</i>	<0.01	<0.01
Obestämd Gobid	<i>Gobiidae</i>	<0.01	
Lerskädda	<i>Hippoglossoides platessoides</i>	<0.01	<0.01
Öring	<i>Salmo trutta</i>	<0.01	<0.01
Tångringbuk	<i>Liparis montagui</i>	<0.01	<0.01
Större ringbuk	<i>Liparis liparis</i>	<0.01	<0.01
Gråsej	<i>Pollachius virens</i>	<0.01	<0.01
Obestämd fiskart		<0.01	<0.01
Småtunga	<i>Buglossidium luteum</i>	<0.01	<0.01
Tungevar	<i>Arnoglossus laterna</i>	<0.01	<0.01
Oxsimpa	<i>Taurulus bubalis</i>	<0.01	<0.01
Lerstubb	<i>Pomatoschistus microps</i>	<0.01	<0.01
Slätvar	<i>Scophthalmus rhombus</i>	<0.01	<0.01
Kummel	<i>Merluccius merluccius</i>	<0.01	
Skägg torsk	<i>Trisopterus luscus</i>	<0.01	<0.01
Lax	<i>Salmo salar</i>	<0.01	
Ansiovis	<i>Engraulis encrasicolus</i>	<0.01	<0.01
Nätmönstrad sjökock	<i>Callionymus reticulatus</i>	<0.01	<0.01
Spetsstjärtad smörbult	<i>Leseurigobius friesii</i>	<0.01	<0.01
Fjärsing	<i>Trachinus draco</i>	<0.01	<0.01
Havsabborre	<i>Dicentrarchus labrax</i>	<0.01	<0.01
Knot	<i>Chelidonichthys gurnardus</i>	<0.01	<0.01
Guldmulte	<i>Liza aurata</i>	<0.01	<0.01
Siklöja	<i>Coregonus albula</i>	<0.01	<0.01
Krumnosig havsnål	<i>Nerophis lumbriciformis</i>	<0.01	
Paddtorsk	<i>Raniceps raninus</i>	<0.01	
Bergvar	<i>Zeugopterus punctatus</i>	<0.01	<0.01
Fenknot	<i>Chelidonichthys lucerna</i>	<0.01	
Präsfisk	<i>Atherina presbyter</i>	<0.01	
Silverfisk	<i>Argentina sphyraena</i>	<0.01	
Småvar	<i>Phrynorhombus norvegicus</i>	<0.01	<0.01
Berggylta	<i>Labrus bergylta</i>	<0.01	<0.01
Fläckig sjökock	<i>Callionymus maculatus</i>	<0.01	<0.01
Löja	<i>Alburnus alburnus</i>	<0.01	<0.01
Obestämd multe	<i>Mugilidae</i>	<0.01	<0.01
Rödtunga	<i>Glyptocephalus cynoglossus</i>	<0.01	
Smörbult obestämd	<i>Gobiidae</i>	<0.01	<0.01
Strandkrabba	<i>Carcinus maenas</i>	<0.01	<0.01
Piggvar	<i>Psetta maxima</i>	<0.01	

4.3. Effekter på fisksamhällena vid kylvattenutsläppet och i omgivande kustområde

Fisksamhällets utveckling vid kylvattenutsläppet och i referensområdet Vendelsö har övervakas med ryssjeprovfiske sedan 1976. Under 2011 utökades undersökningarna med ytterligare ett område, det delvis påverkade området Horta dit kylvatten når vid särskilda förhållanden. Undersökningarna har genomförts både i april och augusti, för att på så sätt övervaka fisksamhällena både vid kallvattenförhållanden och när vattnet håller sommartemperaturer. Temperaturförhållandena mellan områdena skiljer sig från varandra både under april och i augusti månad, där Ringhals har generellt högre vattentemperaturer jämfört med Vendelsö och Horta¹ (figur 3). Det finns däremot inga skillnader i salinitet i vattnet mellan områdena².

Fångsterna under provfiskeperioden har utgjorts av både fisk och kräftdjur, och har omfattat en stor andel av de arter som förekommer naturligt längs svenska västkusten (tabell 3 och 4). Antalet arter som förekommer i provfiskena under april månad har ökat i omfattning under provtagningsperioden för både Ringhals och Vendelsö³, en trend som inte har noterats för Horta (figur 14). Under augustifiskena finns det ingen tydlig utveckling för hur många olika arter som fångats och variationen i artantalet mellan olika år är större jämfört med aprilfiskena (figur 14).

Tabell 3. Medelfångst för samtliga arter som förekommit i ryssjefisket under april månad åren 1976–2023 (2011–2023 för Horta). Medelfångsten presenteras som antal individer per ryssja och natt. Data är sorterat efter Ringhals långtidsmedelvärde i fallande ordning. Grön färg indikerar att arten visar en signifikant positiv trend under åren 1976–2023. Orange färg indikerar en signifikant negativ trend under samma period. Tomma celler betyder att arten inte fångats under aktuell period.

Art	Ringhals	Vendelsö	Horta
Skärsnulta	1.15	0.12	1.90
Skrubbskädda	0.74	0.64	0.22
Tånglake	0.55	1.57	0.36
Stensnulta	0.48	0.85	0.88
Torsk	0.43	0.54	1.16
Oxsimpa	0.36	0.17	0.14
Femtömmad skärlånga	0.35	0.23	0.44
Rötsimpa	0.28	1.32	0.56
Svart smörbult	0.25	0.22	0.14
Ål	0.23	0.08	0.08
Gråsej	0.07	0.03	0.17
Större kantnål	0.05	0.03	<0.01
Tångspigg	0.04	0.03	0.01

¹ Variansanalys, Anova 1976-2023, $p < 0,01$

² Mann-Whitney april-augusti $p > 0,5$

³ Linjär regression Ringhals april, antal arter $P < 0,001$, $R^2 = 0,26$

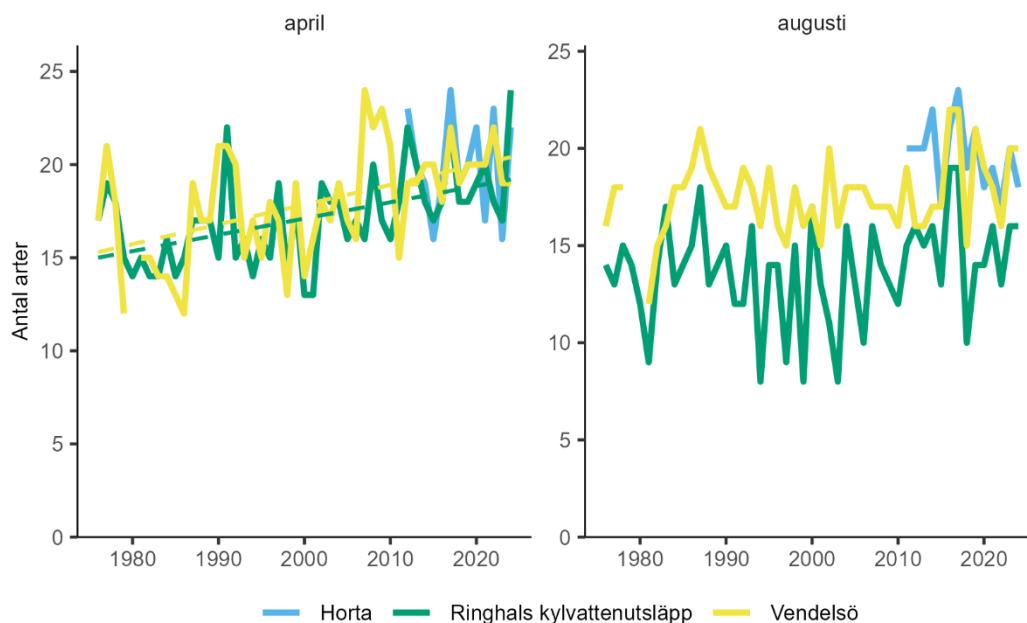
Linjär regression Vendelsö april, antal arter $P < 0,001$, $R^2 = 0,26$

Rödspätta	0.04	0.03	0.01
Tunga	0.03	0.04	0.03
Lax	0.02	<0.01	
Tejstefisk	0.02	0.02	<0.01
Öring	0.02	0.02	<0.01
Grässnulta	0.01		0.12
Berggylta	0.01	0.01	0.01
Sjustrålig smörbult	0.01	<0.01	<0.01
Tångsnälla	0.01	0.01	
Tobis (kust-/havs-)	0.01	<0.01	<0.01
Sjurygg	0.01	0.01	<0.01
Tungevar	0.01	<0.01	<0.01
Piggvar	0.01	0.01	
Sill	0.01	0.02	
Större havsnål	<0.01	<0.01	<0.01
Tobiskung	<0.01	0.02	
Havsabborre	<0.01		
Skäggsimpa	<0.01	0.02	0.04
Randig sjökock	<0.01	0.01	<0.01
Slätvar	<0.01	<0.01	
Paddtorsk	<0.01	<0.01	0.02
Bergvar	<0.01		<0.01
Sandskädda	<0.01	0.02	
Nors	<0.01		
Lyrorsk		<0.01	0.02
Tångringbuk		<0.01	0.02
Bergskädda			0.01
Mindre havsnål		0.01	<0.01
Obestämd fiskart		<0.01	<0.01
Småtunga			<0.01
Tretömmad skärlånga		0.06	
Mindre kantnål		0.01	
Sandstubb		<0.01	
Lerskädda		<0.01	
Vitling		<0.01	
Skarpsill		<0.01	
Strandkrabba	9.85	3.89	2.85
Tångräka obestämd	0.02	0.04	<0.01
Asiatisk blåskrabba	0.01		
Hästräka	0.01	<0.01	
Krabbtaska	<0.01	<0.01	0.01
Eremitkräfta	<0.01	0.02	0.01
Maskeringskrabba	<0.01	0.01	<0.01
Europeisk hummer	<0.01	<0.01	
Spindelkrabba			0.01

Tabell 4. Medelfångst för samtliga arter som förekommit i ryssjefisket under augusti månad åren 1976–2023 (2011–2023 för Horta). Medelfångsten presenteras som antal individer per ryssja och natt. Data är sorterat efter Ringhals långtidsmedelvärde i fallande ordning. Grön färg indikerar att arten visar en signifikant positiv trend under åren 1976–2023. Orange färg indikerar en signifikant negativ trend under samma period. Tomma celler betyder att arten inte fångats inom området.

Art	Ringhals	Vendelsö	Horta
Skärsnultra	13.36	15.87	33.87
Stensnultra	1.23	1.73	1.35
Ål	1.05	0.65	0.47
Svart smörbult	0.28	0.18	0.23
Skrubbskädda	0.27	0.26	0.09
Oxsimpa	0.23	0.08	0.07
Torsk	0.14	0.43	0.63
Gråsej	0.12	0.20	0.22
Tånglake	0.06	0.48	0.12
Tunga	0.05	0.10	0.06
Mindre kantnål	0.05	<0.01	
Femtömmad skärlånga	0.04	0.07	0.07
Rödspätta	0.04	0.04	0.02
Rötsimpa	0.03	0.29	0.15
Obestämd fiskart	0.03	0.10	0.14
Vitling	0.03	0.06	0.08
Tångspigg	0.02	0.01	
Tångsnälla	0.02	0.02	<0.01
Havsabborre	0.02		
Berggylta	0.02	0.04	0.06
Lytorsk	0.01	<0.01	0.02
Mindre havsnål	0.01		
Mulle	0.01	0.02	
Sandskädda	<0.01	<0.01	<0.01
Slätvar	<0.01	0.01	<0.01
Sjustrålig smörbult	<0.01	<0.01	<0.01
Piggvar	<0.01	<0.01	<0.01
Större kantnål	<0.01	0.01	<0.01
Sill	<0.01	<0.01	
Öring	<0.01	0.01	<0.01
Tejstefisk	<0.01	0.01	<0.01
Grässnultra		0.02	0.03
Paddtorsk		0.01	0.02
Makrill		0.01	0.02
Blågylta			0.01
Fjärsing		<0.01	0.01
Tungevar			0.01
Bergvar		<0.01	<0.01

Större havsnål		<0.01	<0.01
Näbbgädda		<0.01	<0.01
Taggmakrill		0.02	
Skäggsimpa		<0.01	
Fyrtömmad skärlånga		<0.01	
Snultra obestämd		<0.01	
Strandkrabba	36.59	18.03	19.21
Hästräka	0.06	0.14	<0.01
Tångräka obestämd	0.05	0.17	0.02
Asiatisk blåskrabba	0.02		
Krabbtaska	<0.01	<0.01	0.03
Europeisk hummer	<0.01	0.02	<0.01
Eremitkräfta		0.01	<0.01

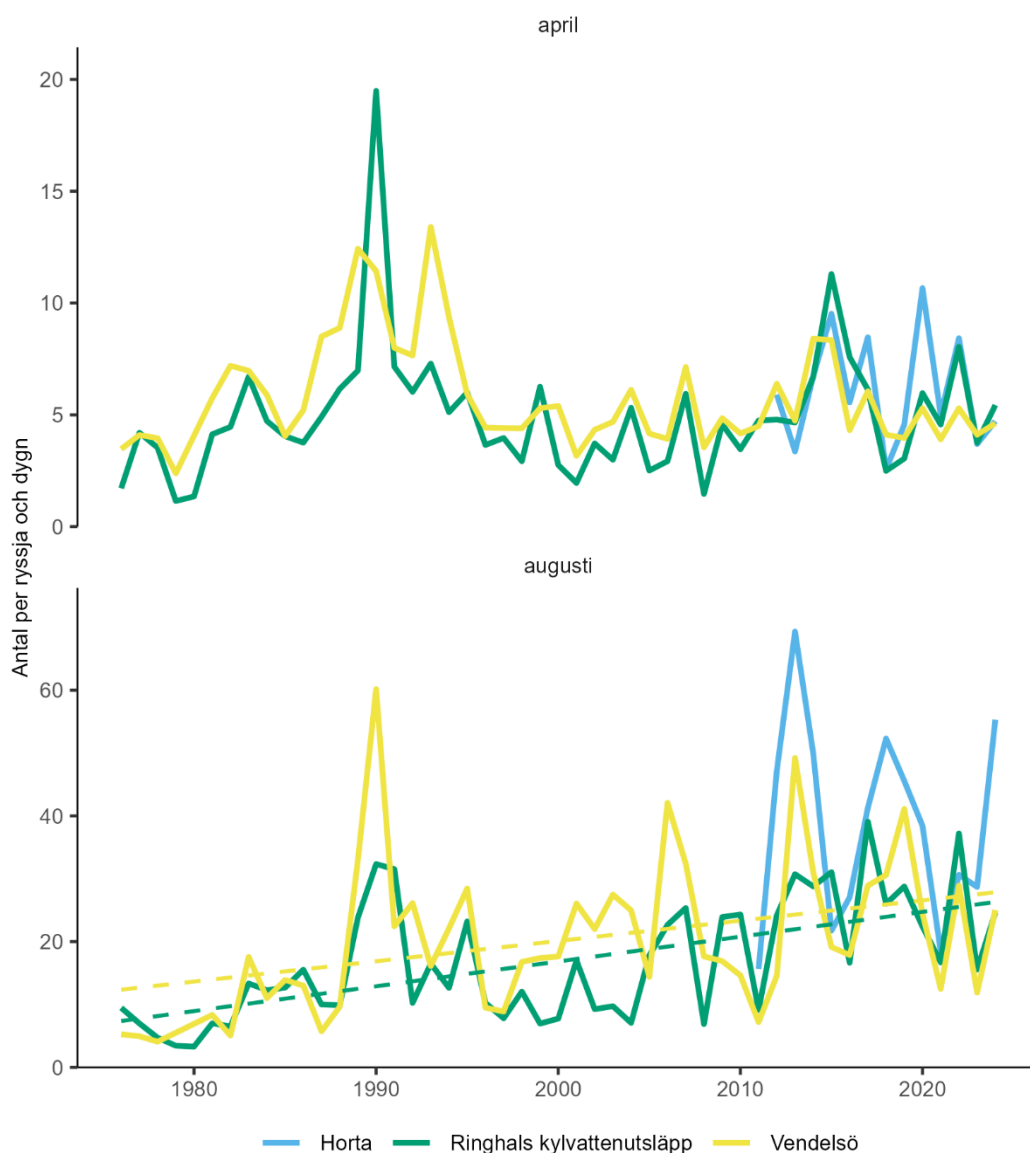


Figur 14. Totalt antal arter fångade per år vid Ringhals, Horta och Vendelsö 1976–2023 under april och augusti. En streckad linje anger signifikant trend över tid.

Fångsterna av fisk och kräftdjur har ökat i omfattning vid kylvattenutsläppet och referensområdet Vendelsö i augusti sedan undersökningarna inleddes på 1970-talet, en trend som inte förekommer under våarna⁴ (figur 15). De vanligaste fiskarterna

⁴ Regressionsanalys 1976–2023, $P < 0,01$, $R^2 = 0,37$ för Ringhals och $P < 0,01$, $R^2 = 0,25$ för Vendelsö

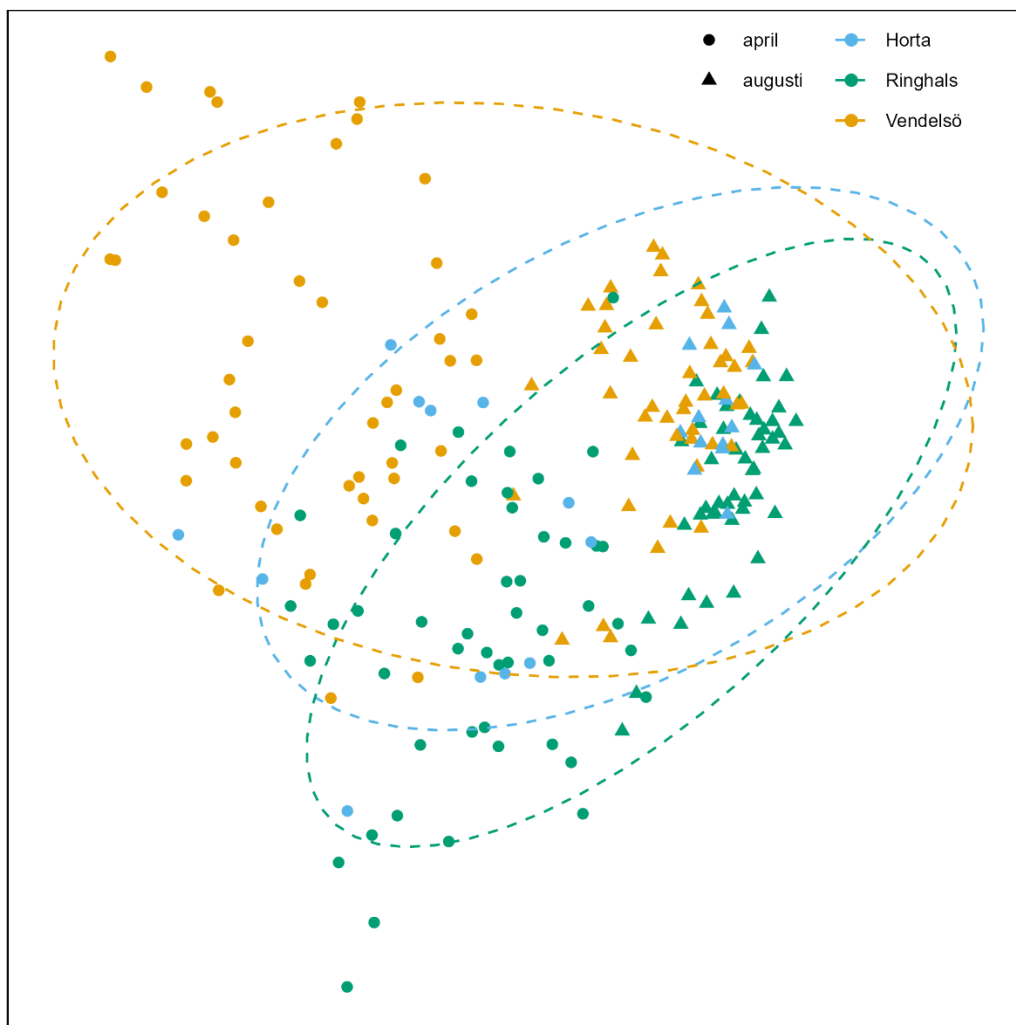
i fångsterna har varit skärsnulta och stensnulta, som fångas främst under augusti (tabell 4). Vid provfiskena under april månad har även skrubbskädda, tånglake och torsk förekommit i relativt höga tätheter (tabell 3). Den vanligaste arten i provfiskena har dock varit strandkrabba, en art som ökat i omfattning både vid utsläppsområdet och referensen genom åren⁵ (tabell 3 och 4). Strandkrabba förekommer främst vid kylvattenutsläppet men även i övriga områden under augusti (tabell 4).



Figur 15. Långsiktig utveckling hos totalfångsten vid provfiske med ryssjor vid Ringhals, Vendelsö och Norra Horta. Streckad linje anger linjär trend över tid.

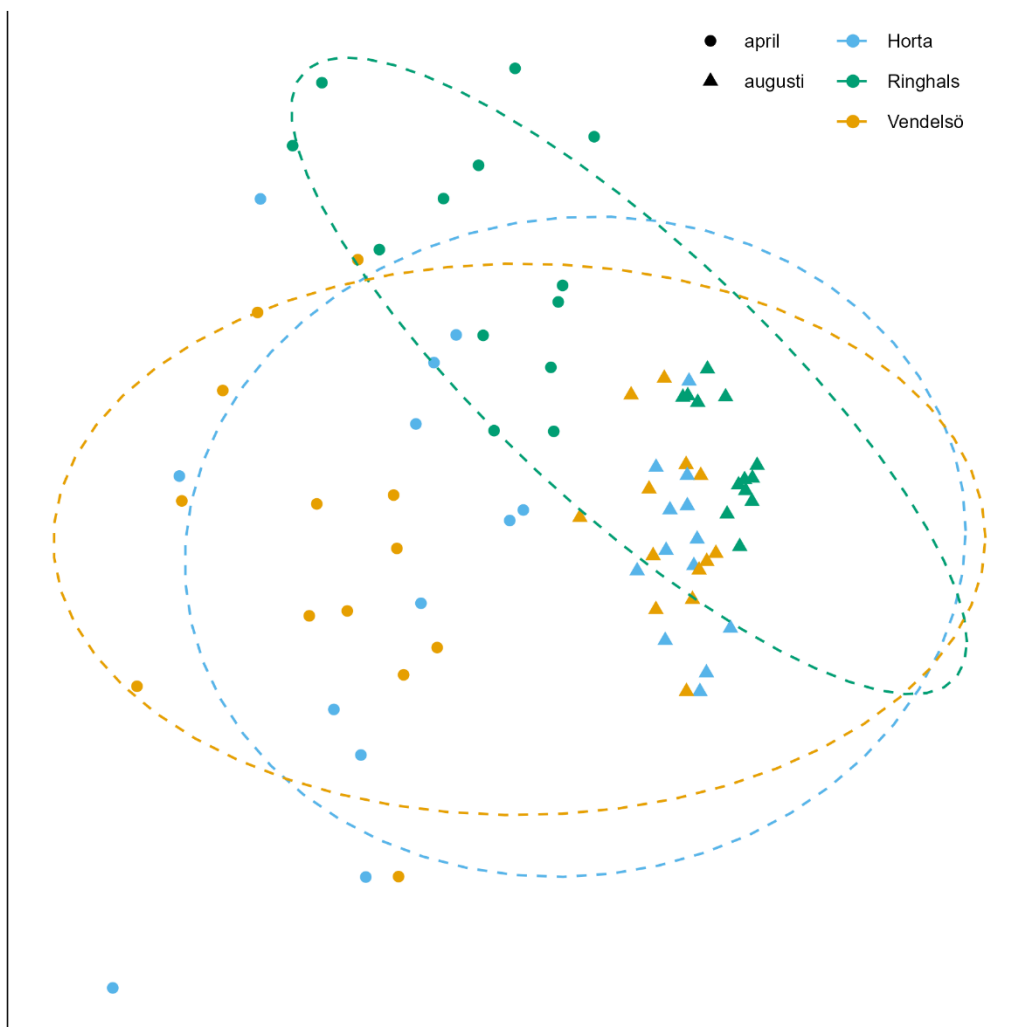
⁵ Regressionsanalys 1976–2023, $P < 0,01$, $R^2 = 0,27$ Ringhals april och $P < 0,01$, $R^2 = 0,41$ Vendelsö april

Det finns tydliga skillnader i artsammansättningen i fångsterna mellan provfiskena som genomförs i april respektive i augusti (figur 16)⁶. Utifrån nMDS-analysen ligger punkterna för augusti mer samlade än de för april vilket indikerar att det är mer variation i artsammansättningen under våren jämfört med hösten. Liknande mönster kan även ses i nMDS-analysen gjord med data från åren 2011–2023 (figur 17).



Figur 16. Artsammansättningen i ryssjefisket representerad i nMDS-analys med en punkt per år för varje provfisketillfälle och område. Punkterna för Ringhals och Vendelsö representerar åren 1976-2023, medan Horta representerar 2011-2023. Punkter som är mer lika varandra ligger närmare varandra i grafen. Provfiskena under våren (cirkulära symboler) grupperar sig till vänster i figuren och provfiskena under sommaren (triangulära symboler) till höger. Inom varje säsong syns en skillnad mellan provfiskelokalerna genom att punkterna som representerar provfisken vid Ringhals (gröna symboler), Vendelsö (gula symboler) respektive Horta (blå symboler) placeras relativt tydligt samlade i separata grupper. nMDS stressvärde = 0,08.

⁶ Mann-Whitney april-augusti $p < 0,01$

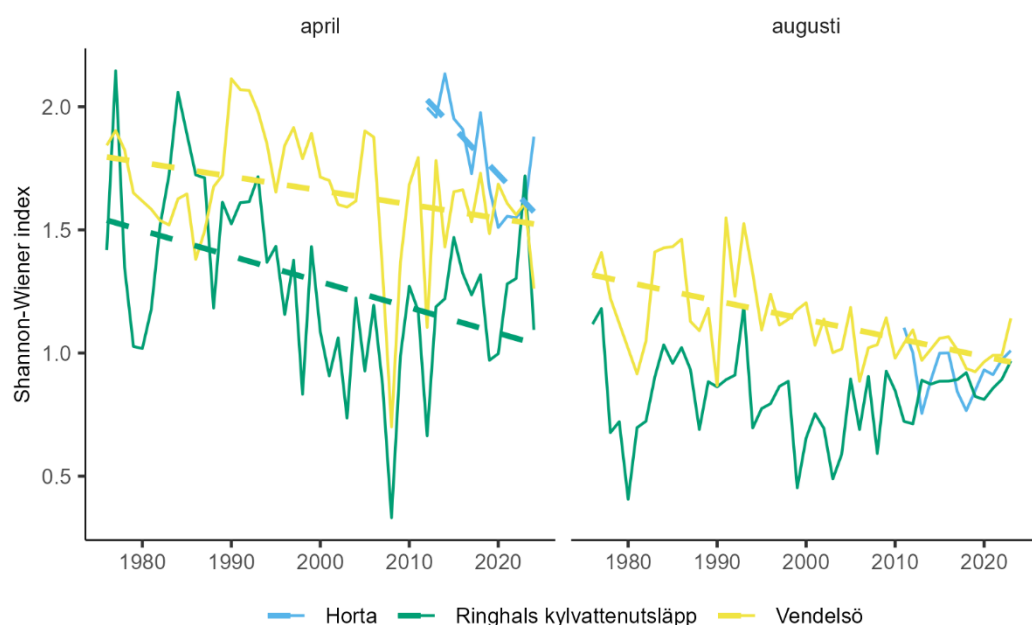


Figur 17. Artsammansättningen i ryssjöfisket representerad i nMDS-analys med en punkt per år för varje provfisketillfälle och område. Punkterna innefattar åren 2011–2023. Punkter som är mer lika varandra ligger närmare varandra i grafen. Provfiskena under våren (cirkulära symboler) grupperar sig till vänster i figuren och provfiskena under sommaren (triangulära symboler) till höger. Inom varje säsong syns en skillnad mellan provfiskelokalerna genom att punkterna som representerar provfisken vid Ringhals (gröna symboler), Vendelsö (gula symboler) respektive Horta (blå symboler) placeras relativt tydligt samlade i separata grupper. nMDS stressvärde = 0,07.

Vid analyserna av artdiversiteten i provfiskefångsterna i området enligt Shannon-Wieners diversitetsindex, syns en negativ utveckling under provtagningsperioden. Under provfiskena i april har indexet i fångsterna av fisk och kräftdjur minskat för samtliga områden. Horta har generellt högst artdiversitet under april jämfört med de andra områdena under perioden 2011–2023, mycket beroende på att strandkrabba inte är lika dominerande och att arterna torsk och skärsnulta är relativt vanliga (tabell 3 och figur 18). För provfiskena i augusti noteras denna minskning endast vid Vendelsö (figur 18). Att artdiversiteten i fångsterna minskar vid Ringhals och Vendelsö orsakas framför allt av dominansen av vissa arter och

att dessa blir proportionellt mer vanliga jämfört med övriga arter. Det är framför allt de stora fångsterna av strandkrabba och lägre fångsterna av kallvattenarter, som exempelvis oxsimpa och tånglake, som bidragit till utvecklingen vid båda områdena. Vid området vid kylvattenutsläppet påverkas artdiversiteten även negativt av de höga tätheterna av skärsnultra.

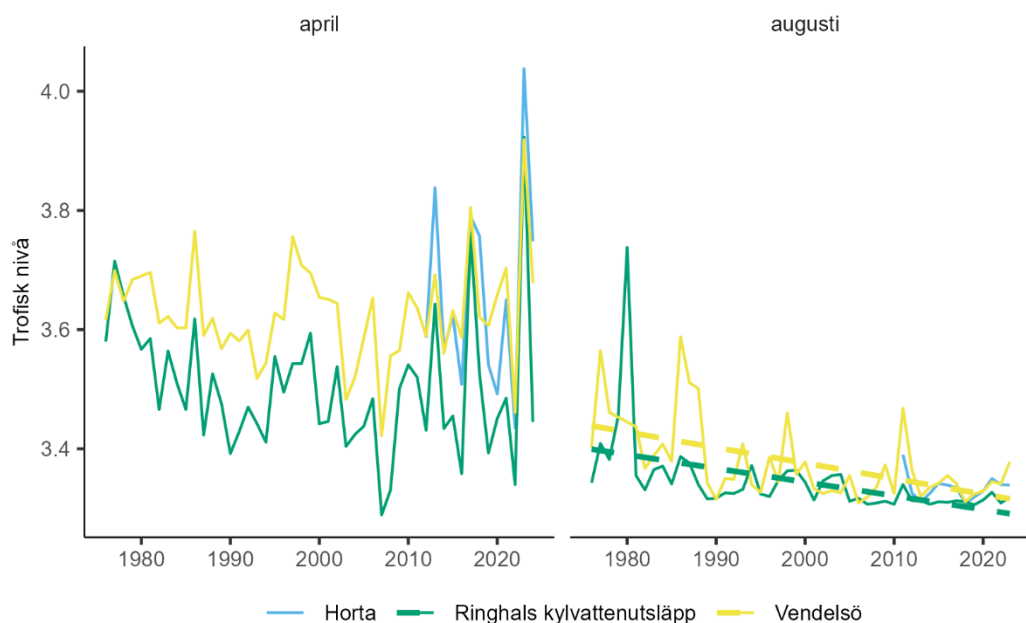
Den negativa utvecklingen av artdiversiteten i Vendelsö under augustifiskena orsakas framför allt av de ökade tätheterna av skärsnultra, gulål, svart smörbult och strandkrabba, samtidigt som förekomsterna av tånglake och oxsimpa har minskat (tabell 4). I Ringhals har diversitetsindexet generellt varit lägre jämfört med referensområdet Vendelsö, delvis beroende på stor dominans av strandkrabbor i området. Vid Horta finns ingen tydlig trend och diversitetindex har varierat under provfiskeperioden i augusti.



Figur 18. Biologisk mångfald i provfiskefångsterna enligt Shannon-Wiener index (diversitetsindex) vid kylvattenutsläppet, referensområdet Vendelsö och Horta. Streckade linjer anger statistiska trender.

Provfiskeundersökningarna som genomförts under åren har påvisat förändringar i fiskesamhällena i områdena längs kusten vid Ringhals kärnkraftverk. Sedan provfiskena inleddes har utvecklingen för enskilda arter varit olika där vissa arter uppvisar ökande trender och några minskar i omfattning. Det finns tecken på att fiskesamhällena i Ringhals och Vendelsö har minskade förekomster för fiskarter högt upp i trofinivåerna, det vill säga att andelen rovfiskar minskar och mesopredatorer ökar i antal (fiskarter som befinner sig i mitten av näringsväven mellan rovfiskar och växtätare). Under augustifiskena har utvecklingen av indexet medeltrofinivå (MTL) varit negativ i både Ringhals och Vendelsö, medan det i

Horta varit oförändrat sedan 2011 (figur 19). Gemensamt för både Ringhals och Vendelsö under augusti är att fångsterna av skärsnultra, en mesopredator, har ökat i områdena samt att fiskarter med högre trofinivåer såsom torsk och ål förekommer i relativt låg omfattning⁷ (figur 20, 21 och 22). Det förekommer dock en svagt ökande trend för ål i Vendelsö under augusti, ett positivt tecken för den rödlistade arten (figur 22)⁸. Resultaten för MTL i fångsterna i ryssjefiskena under april har varierat kraftigt mellan åren utan någon tydlig trend över tid (figur 19). En anledning till att den generella utvecklingen för indexet skiljer sig åt mellan april- och augusti månad kan till viss del bero på den positiva utvecklingen för torsk under våren. Vid provfiskena i april i Vendelsö har fångsterna av torsk tydligt ökat och samma tendens finns även i Ringhalsområdet⁹. Fångstdata uppvisar dock stora variationer men samstämmer till stor del mellan år och områden (figur 21). Totalt



Figur 19. Utveckling av trofisk medelnivå i april och augusti 1976–2023. En streckad linje anger signifikant linjär trend över tid.

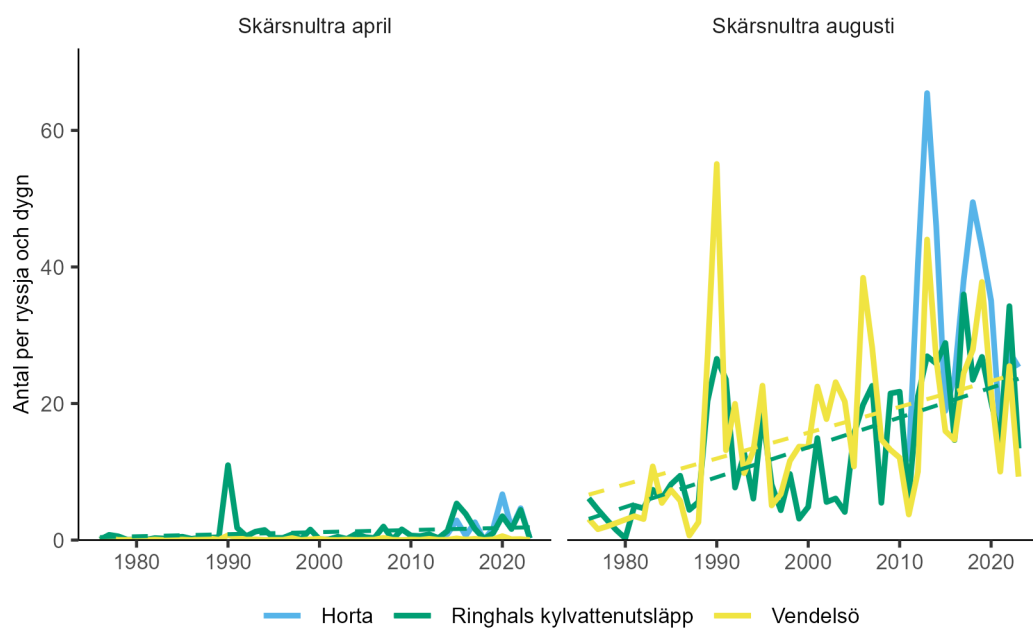
sett är fångsterna av torsk större under april jämfört med augusti, ett tecken på att arten är mer aktiv och uppehåller sig kustnära vid lägre vattentemperaturer¹⁰. Under augusti månad undviker torsken utsläppsområdet för kylvatten och endast fåtal unga individer förekommer i fångsterna under den här tiden på året.

⁷ Regressionsanalys, Ringhals $p < 0,01$, $R^2 = 0,43$, Vendelsö $p < 0,01$, $R^2 = 0,34$

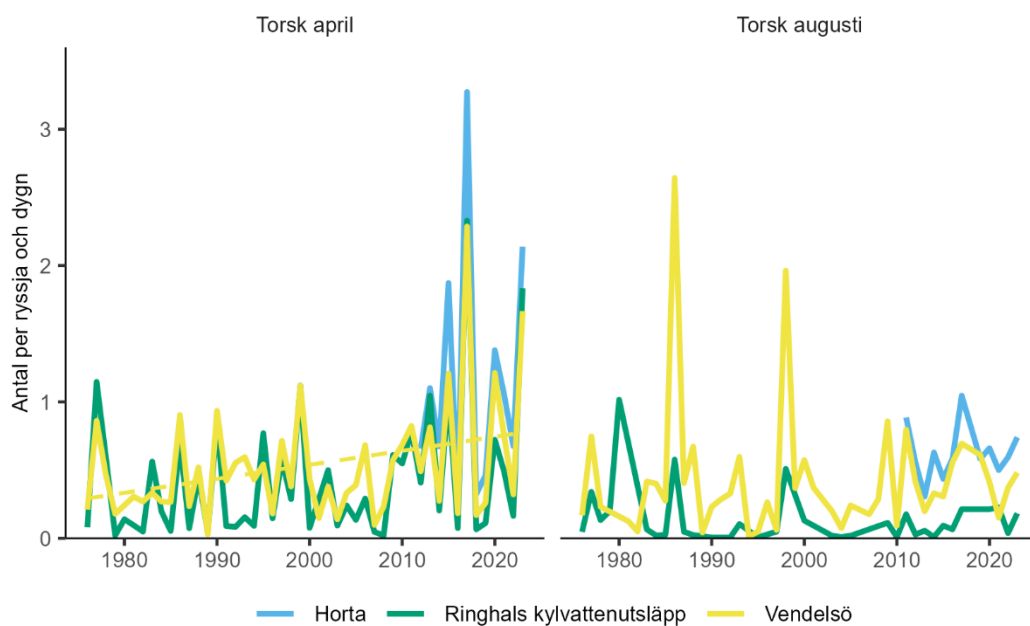
⁸ Regressionsanalys, Vendelsö $p < 0,01$, $R^2 = 0,20$

⁹ Regressionsanalys Vendelsö april $p = 0,002$, $R^2 = 0,11$

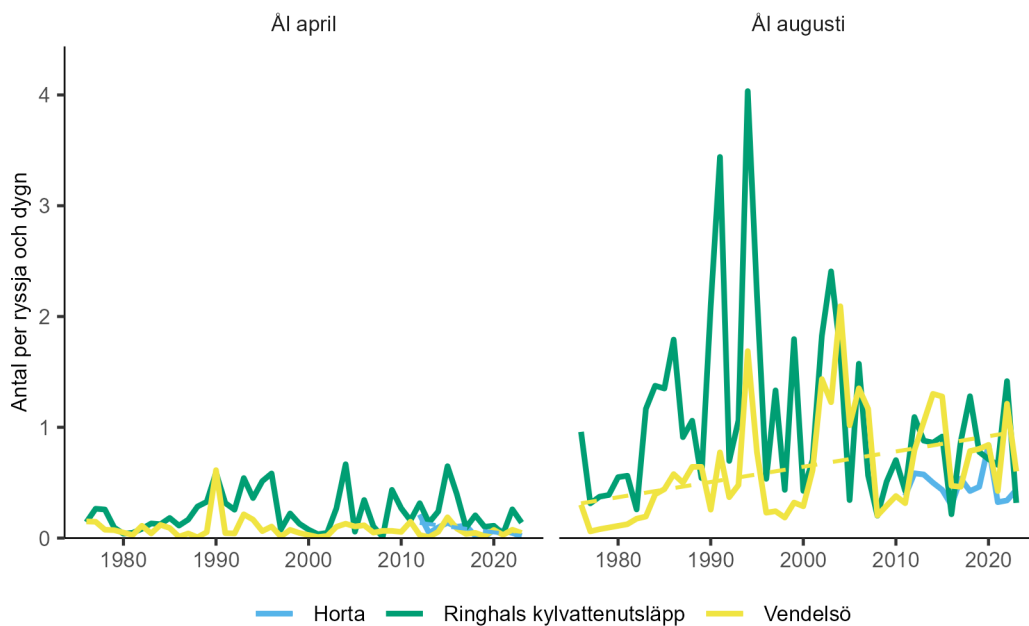
¹⁰ Mann-Whitney april-augusti $p < 0,01$



Figur 20. Långsiktig utveckling hos fångsten av skärsnultra vid provfiske med ryssjor vid Ringhals, Vendelsö och Norra Horta. Streckad linje anger linjär trend över tid.



Figur 21. Långsiktig utveckling hos fångsten av torsk vid provfiske med ryssjor vid Ringhals, Vendelsö och Norra Horta. Streckad linje anger linjär trend över tid.



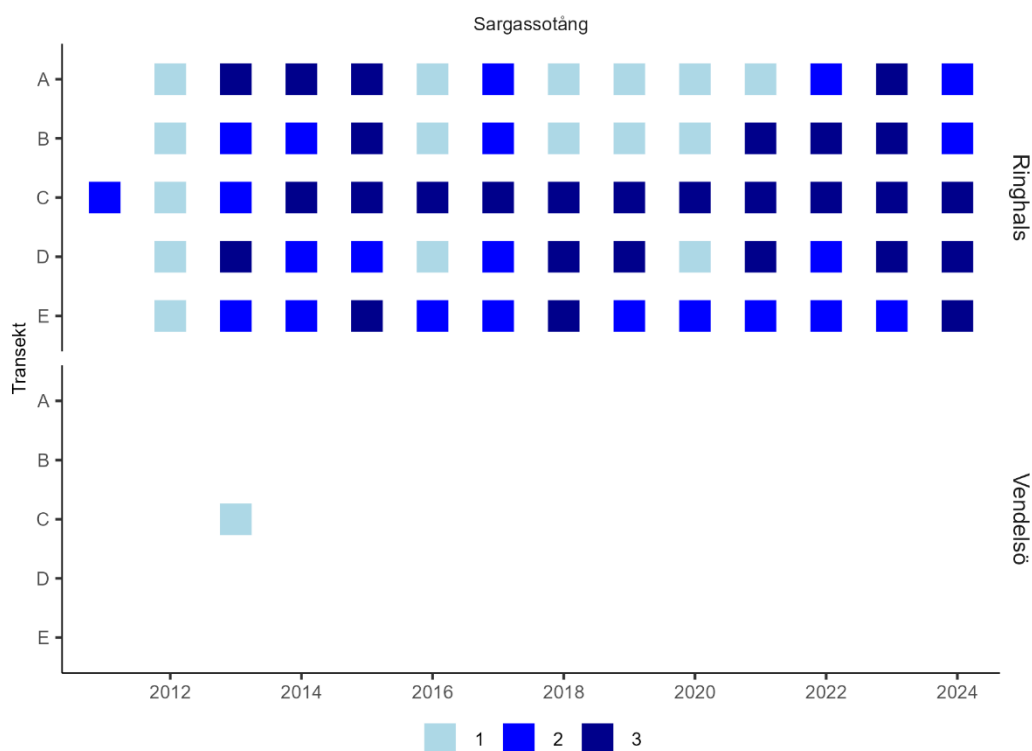
Figur 22. Långsiktig utveckling hos fångsten av ål vid provfiske med ryssjor vid Ringhals, Vendelsö och Norra Horta. Streckad linje anger linjär trend över tid.

4.4. Främmande arter

Fem lokaler har inventerats kontinuerligt sedan kontrollen av främmande arter påbörjades 2011. Första året undersöktes endast en transekt per lokal, men sedan 2012 har fem transekter per lokal undersökts. Området vid Ringhals kylvattenutsläpp undersöks tillsammans med Vendelsö, Norra Horta och två lokaler inom Båtafjorden (norra och södra). Mellan 2011 och 2016 besöktes samtliga lokaler årligen, men därefter besöks Båtafjorden norra och södra endast vartannat år. Under provtagningsperioden har sju främmande arter påträffats. Japansk sargassotång (*Sargassum muticum*) är den mest talrika främmande algen i undersökningarna, vilken förekommer i stor utsträckning vid Ringhals kylvattenutsläpp och Båtafjorden norra (figur 23 och 24). 2013 är det enda året då arten påträffades vid Vendelsö och då endast enstaka exemplar (figur 23). Arten har hittills inte påträffats vid Norra Horta. Rödsvansing (*Dasya baillouviana*) är en rödalga som påträffats nästintill årligen vid Ringhals kylvattenutsläpp (figur 25) i varierande antal och har endast vid ett fåtal tillfällen förekommit på de andra lokalerna. 2011 och 2020 är de enda åren som rödsvansing påträffats på samtliga lokaler. Utöver det så hittades den 2012 och 2013 vid Båtafjorden norra, ett område som är delvis påverkat av kylvattenutsläppet. Även de främmande rödalger agaralg (*Gracilaria vermiculophylla*), japanplym (*Dasysiphonia japonica*) och japantofs (*Bonnemaisonia hamifera*) har förekommit i undersökningen, men i lägre omfattning och antal än andra främmande arter. Agaralg har endast påträffats vid

tre transekter, en i Båtafjorden norra under 2011 och två i Båtafjorden södra 2022 och 2024. Japanplym har förekommit under fyra år (2017, 2019, 2020 och 2023) vid Ringhals kylvattenutsläpp. Japantofs har förekommit under de flesta åren av undersökningen men då endast vid Vendelsö och Norra Horta, med undantag för ett år då den hittades vid Båtafjorden norra. Klykalg (*Codium fragile*) har endast påträffats vid ett tillfälle i Båtafjorden norra och då i enstaka exemplar.

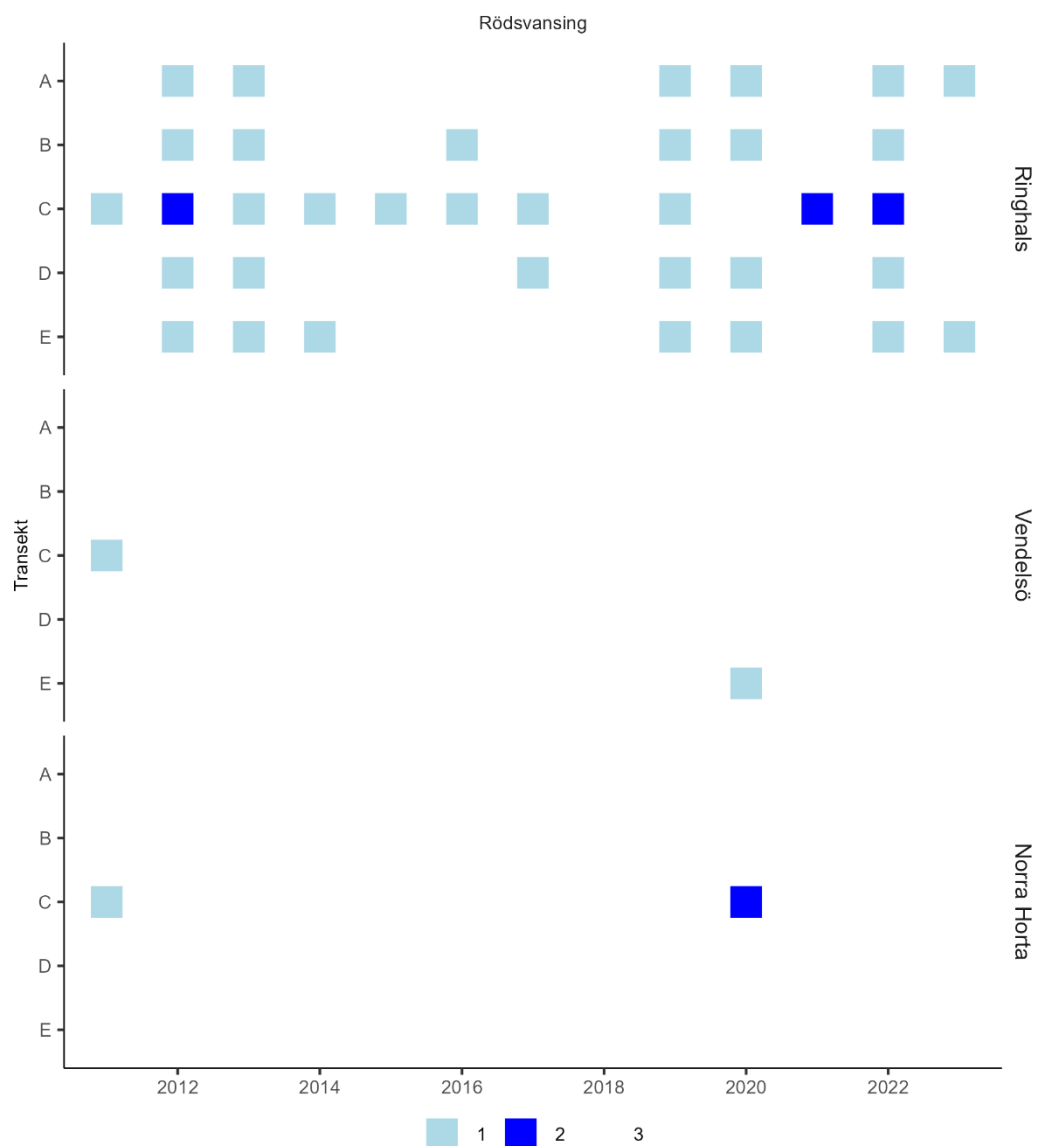
Stillahavssostron (*Magallana gigas*) har påträffats flera år inom samtliga lokaler, men i högst omfattning vid Ringhals kylvattenutsläpp och Båtafjorden där den förekommit alla år förutom 2012, respektive 2014 (figur 26 och 27).



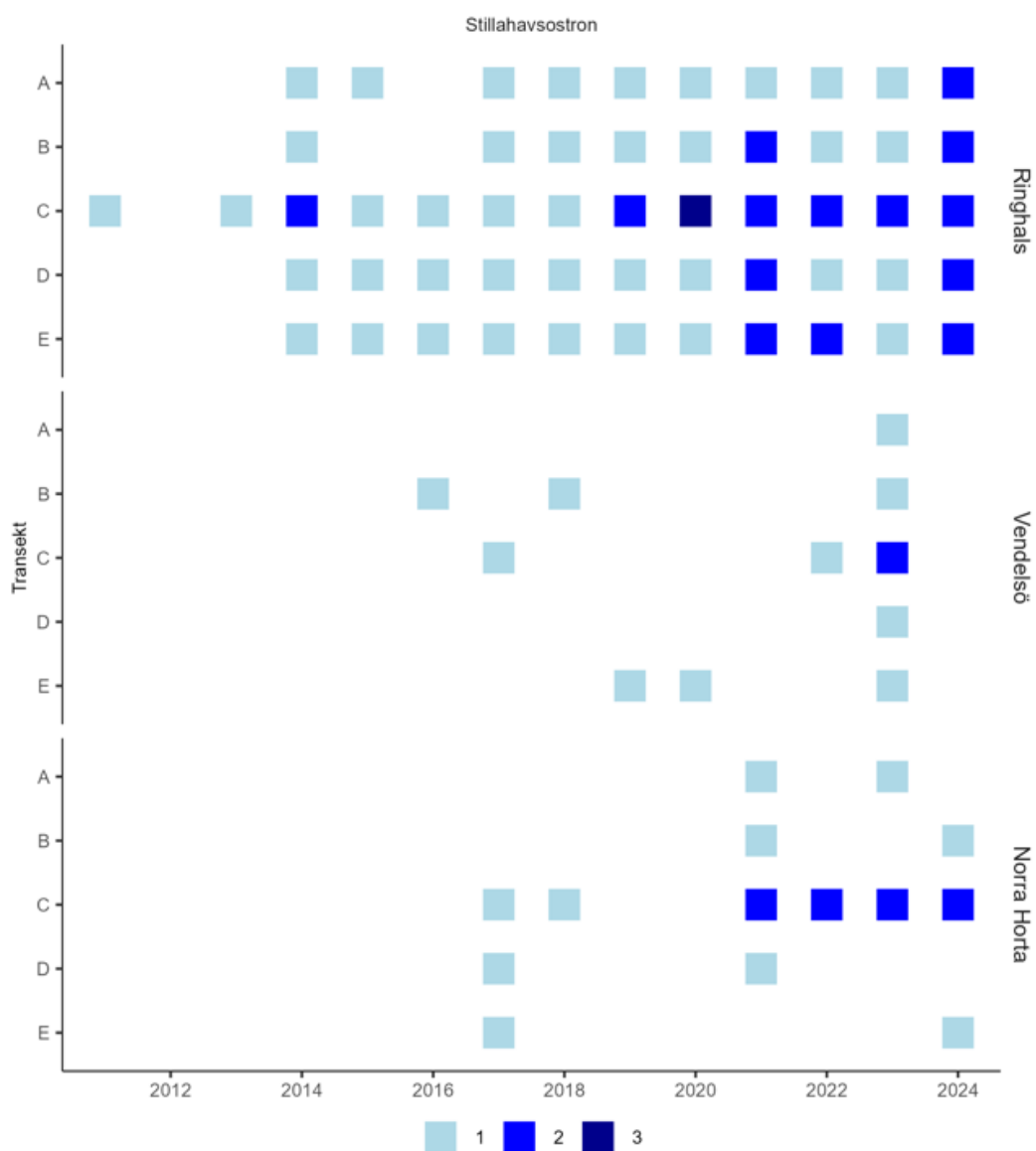
Figur 23. Täckningsgrad av sargassotång vid områdena Ringhals och Vendelsö under inventeringarna av främmande arter sedan undersökningens början 2011. Täckningsgraden är given efter en tregradig skala, där mörkare färg anger tätare förekomst; 1) enstaka (ljusblå), 2) vanlig (mellanblå), 3) talrik (mörkblå). Transekt C är huvudtransekten för respektive område. Sargassotång har inte påträffats vid Norra Horta och är därför inte med i figuren.



Figur 24. Täckningsgrad av sargassotång inom området Båtafjorden under inventeringarna av främmande arter sedan undersökningens början 2011. Täckningsgraden är given efter en tregradig skala, där mörkare färg anger tätare förekomst; 1) enstaka (ljusblå), 2) vanlig (mellanblå), 3) talrik (mörkblå). Transekt C är huvudtransekten för respektive område. Sedan 2016 så har Båtafjorden endast undersökts vartannat år.



Figur 25. Täckningsgrad av rödsvansing vid områdena Ringhals, Vendelsö och Horta under inventeringarna av främmande arter sedan undersökningens början 2011. Täckningsgraden är given efter en tregradig skala, där mörkare färg anger tätare förekomst; 1) enstaka (ljusblå), 2) vanlig (mellanblå), 3) talrik (mörkblå). Transekt C är huvudtransekten för respektive område.



Figur 26. Täckningsgrad av stillahavsostron vid områdena Ringhals, Vendelsö och Horta under inventeringarna av främmande arter sedan undersökningens början 2011. Täckningsgraden är given efter en tregradig skala, där mörkare färg anger tätare förekomst; 1) enstaka (ljusblå), 2) vanlig (mellanblå), 3) talrik (mörkblå). Transekt C är huvudtransekten för respektive område.



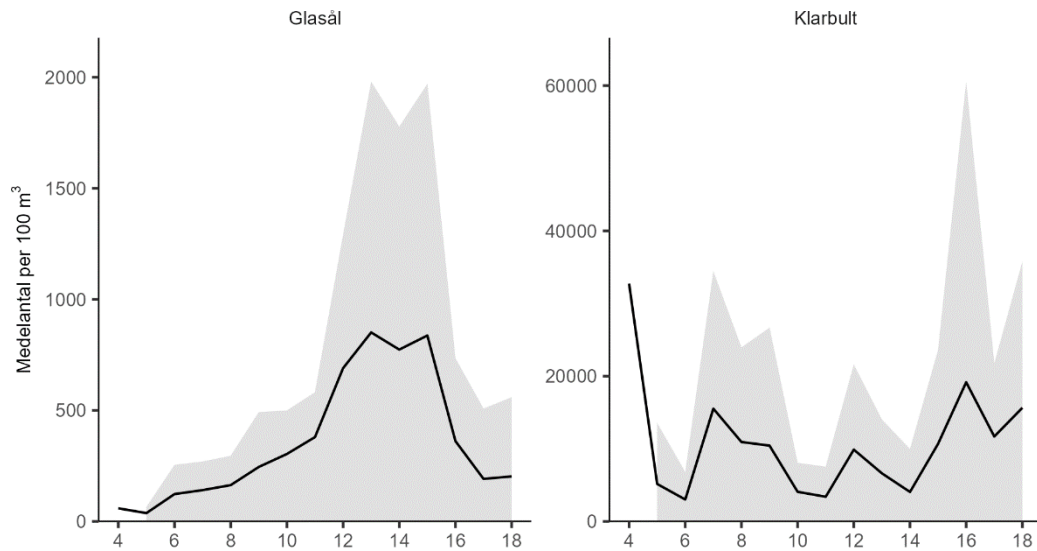
Figur 27. Täckningsgrad av stillahavssostron inom området Båtafjorden under inventeringarna av främmande arter sedan undersökningens början 2011. Täckningsgraden är given efter en tregradig skala, där mörkare färg anger tätare förekomst; 1) enstaka (ljusblå), 2) vanlig (mellanblå), 3) talrik (mörkblå). Transekt C är huvudtransekten för respektive område.

4.5. Utvärdering provtagningsmetodik

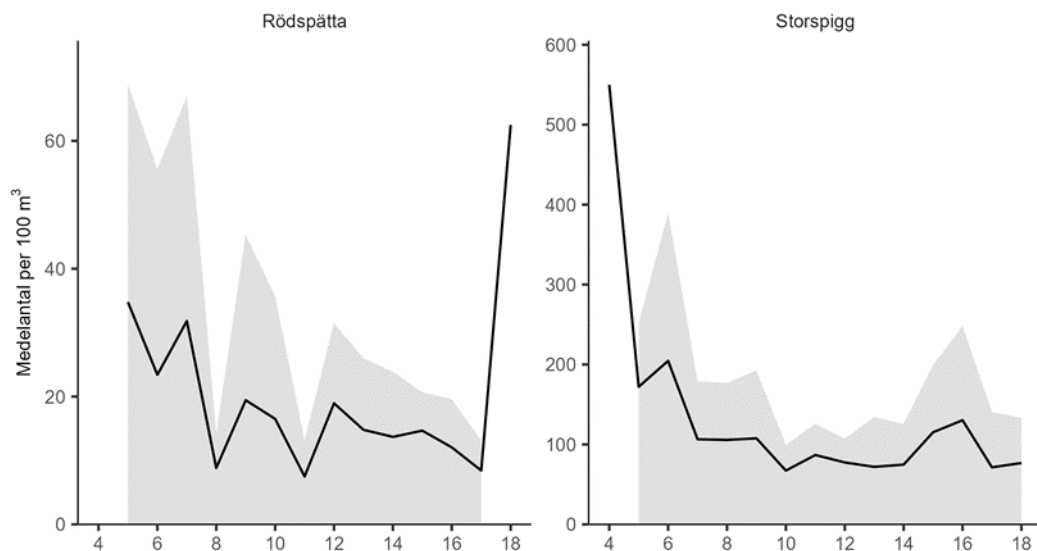
4.5.1. Kylvattenintaget

Provtagningarna med redskapen Bongohåv och Isaacs-Kiddtrål genomförs januari-april, respektive februari-april enligt fastslaget program. Fångsterna för de olika arterna kan variera stort under provtagningsperioderna och även mellan olika veckor inom samma år. Fisken som fångats i de olika redskapen utgörs framför allt av fiskägg och -larver för höstlekande fisk, samt de arter som är aktiva under vårvinterns kalla vatten. Omfattningarna av fiskförlusterna i kylvattenintaget av flertalet arter förefaller att bli mer omfattande längre fram under provtagningsperioden på våren. Enligt data för storspigg, glasål, sill och klarbult är förlusterna som störst i slutet av mars och början av april, och sedan minskar förekomsterna något i slutet av perioden (figur 28, 29 och 30). Vid tidpunkten när undersökningarna avslutas i april är förlusterna av fisk relativt stora men oklart hur trenderna ser ut därefter. Eftersom resultaten i undersökningarna presenteras i medelvärdesberäkningar är det väsentligt att provtagningarna fortsätter enligt fastslagen metodik under angivna tidsperioder och intervaller, för att bibehålla de

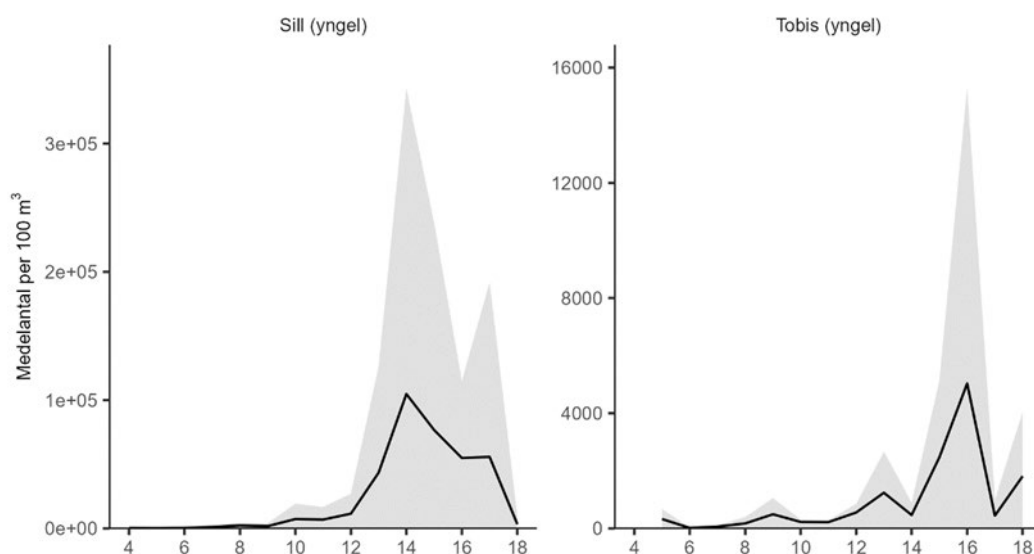
långa tidsserierna. Flertalet arter i kustnära områden föredrar dock varmare vattenförhållanden, exempelvis skärnsultra och stensultra, och dessa skulle sannolikt påträffas i större utsträckning om undersökningarna förlängdes och även genomfördes senare under våren.



Figur 28. Resultat från undersökningar med Isaacs-Kidd trål för arterna ål (glasål) och klarbult. Svarta linjer anger medelvärden per vecka under den senaste tioårsperioden och gråa fält visar standardavvikelser.



Figur 29. Resultat från undersökningar med Isaacs-Kidd trål för arterna rödspätta och storspigg. Svarta linjer anger medelvärden per vecka under den senaste tioårsperioden och gråa fält visar standardavvikelser.



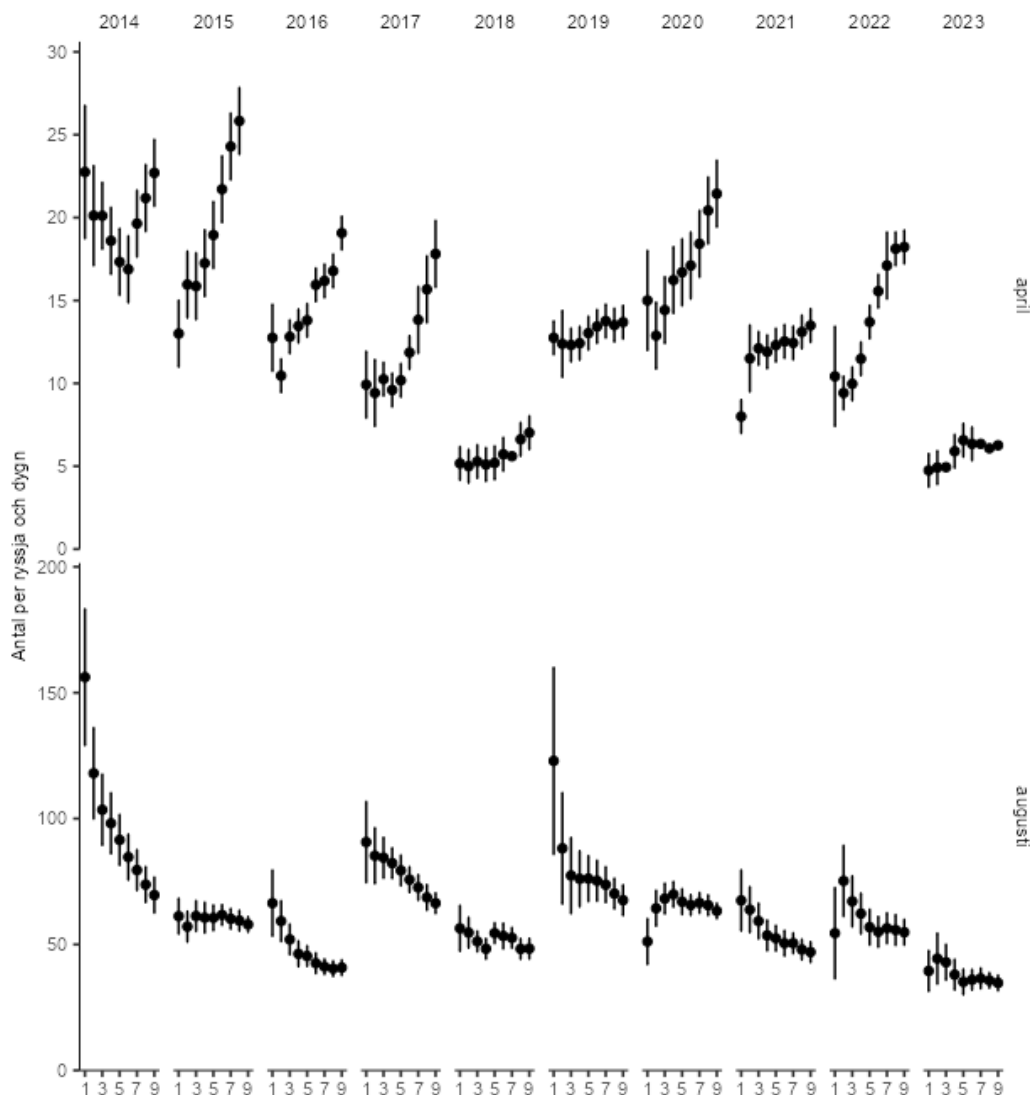
Figur 30. Resultat från undersökningar med Isaacs-Kidd trål för arterna sill (yngel) och tobis. Svarta linjer anger medelvärden per vecka under den senaste tioårsperioden och gråa fält visar standardavvikelser.

4.5.2. Provfiske med småryssjor

Undersökningarna med ryssjor vid Ringhals kärnkraftverk inleddes 1974 och är en av de längsta provfiskeserierna inom kustfiskövervakningen i Sverige. Vid utvärderingarna av resultaten utgörs de statistiska analyserna till stor del av medelvärdesberäkningar och innefattar data från ett relativt litet urval av stationer, totalt sex stycken i respektive delområde. Eftersom undersökningarna genomförs med totalt nio vittjningar under provfiskeperioden blir upprepningarna i provfiskena långdragna och omfattar stor del av månaderna som det genomförs. Ett resultat av detta upplägg blir att provfiskena utförs under varierande förhållanden för exempelvis vattentemperaturer, vilket är en faktor för fiskens aktivitet och därmed stor påverkan på fångsterna. Vid provfiske av endast sex relativt grunda stationer per område begränsas dessutom undersökningarna att inte omfatta hela fiskesamhället, och övervakning av mer djupgående fiskarter uteblir eller att insamlad data blir av sämre kvalitet.

Vid jämförelser av provfiskefångsterna under de olika perioderna (april och augusti) sker en tydlig förändring i resultaten för medelvärdesberäkningarna i takt med att provfisket genomförs. Under våarna för flertalet år finns en tendens att genomsnittet av fångsterna ökar ju längre tid provfisket pågår, och det motsatta under augustifisket (figur 31). Detta mönster stämmer väl överens med utvecklingen av temperaturerna under provfiskeperioderna, där temperaturerna generellt ökar under aprilfiskena och minskar under augustiperioden (figur 32). Vid de statistiska analyserna av provfiskena påverkas dessutom spridningsmåttan i medelvärdesberäkningarna, det vill säga hur mycket insamlade data varierar från det beräknade medelvärdet. Resultaten visar att medelvärdesberäkningarna är mer

osäkra under de första vittjningarna i provfisket men tenderar att bli bättre ju fler vittjningar som genomförs (figur 31). Enligt den matematiska formeln för



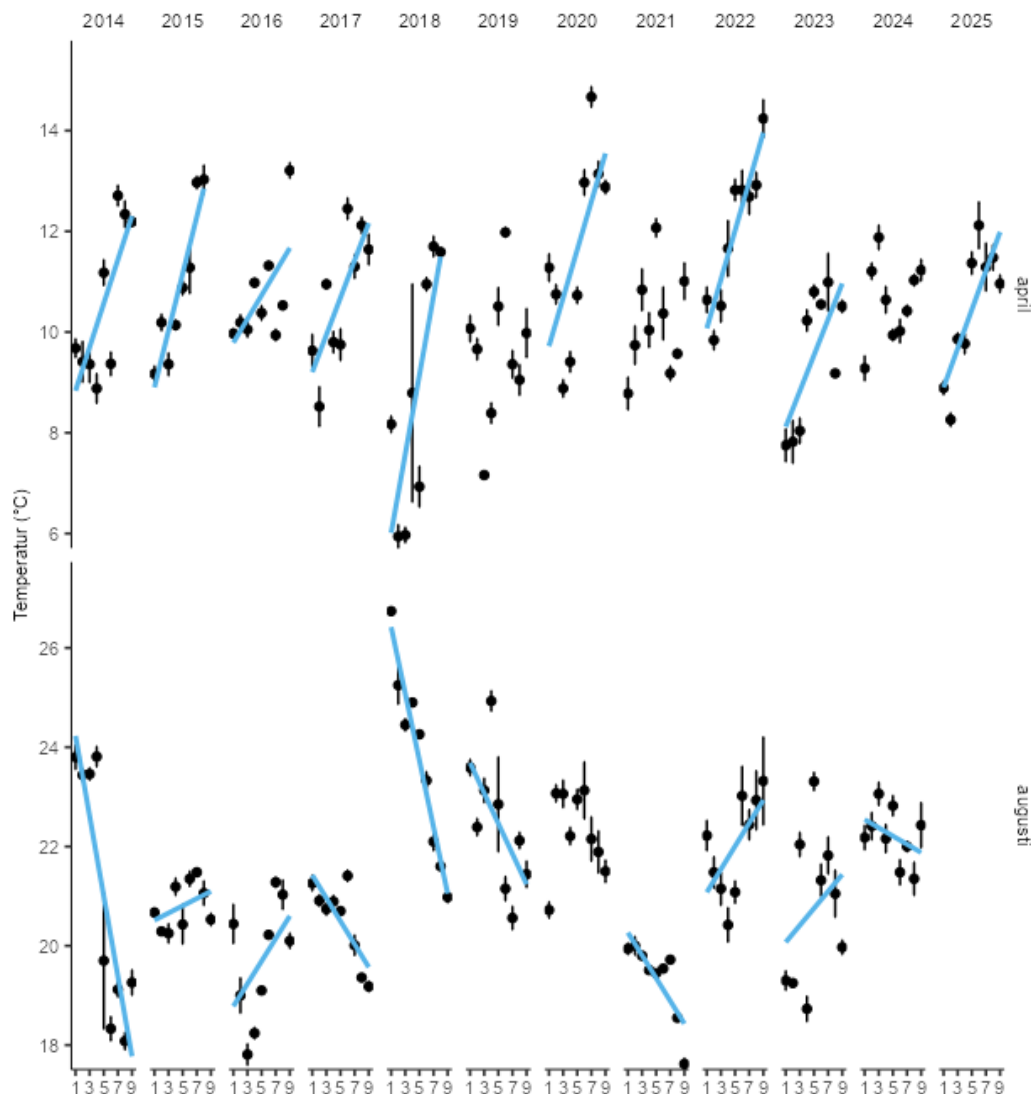
Figur 31. Fångster i provfiskena med småryssjor i Ringhals kylvattenutsläpp i april (överst) och augusti (underst) under åren 2014 till 2023. Resultaten presenteras som medelvärden (punkter) av undersökta stationer och standardfel (staplar). På x-axeln presenteras antal fiskedagar som resultaten baseras på, det vill säga att dag 1 utgörs av fångstdata från sex stationer och därefter utökas data med sex stationer för varje dag. Således utgörs den nionde fiskedagens resultat av fångstdata från 54 stationer.

standardavvikelse (σ), den genomsnittliga avvikelsen från medelvärdet i en observationsserie, är sannolikheten att spridningsmättet minskar ju fler observationer som genomförs, enligt formeln:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-m)^2}{n}}, \text{ där } x \text{ är enskilt observationsvärde; } m \text{ är medelvärde och } n \text{ är antal observationer.}$$

Trots att medelvärdesberäkningarna tenderar att kontinuerligt ändras under provfiskeperioderna medför det stora antalet observationer i

undersökningarna att spridningsmåttet är relativt lågt, det vill säga om varje enskild vittjning hanteras som en enskild datapunkt (figur 31).



Figur 32. Vattentemperaturen vid botten på stationerna från provfiske med småryssjor i Ringhals kylvattenutsläpp i april (överst) och augusti (underst) under åren 2014 till 2023. X-axeln visar fiskedag under fiskeperioden. Observera att fiskedagarna inte nödvändigtvis ligger i anslutning till varandra utan kan vara fördelade under hela månaden. Resultaten presenteras som medelvärden (punkter) och standardfel (staplar). Heldragna blå linjer visar signifikant trend.

4.5.3. Kontroll av utsläppstuben

Undersökningarna med filmning vid utsläppstuben har historiskt aldrig genomförts med en tydlig utarbetad standardiserad metodik. Vid insamling av filmmaterial från utsläppstuben manövreras en undervattensfarkost sporadiskt över undersökningsområdet för att uppnå visuell överblick av tuben och omgivande

område. Utvärderingarna grundar sig därefter av subjektiva tolkningar från filmerna med avseende på förekomster av fisk och sedimenterat material samt eventuella avvikelser jämfört med tidigare år. Med avsaknad av en standardiserad metodik blir det problematiskt att följa särskilda trender och svårigheter att avgöra hur återtransporten av rensmassorna från kylvattenintaget påverkar utsläppsområdet och förändras över tid.

Trots svårigheterna att avgöra hur stor del av området omkring utsläppstuben som påverkas av rensmassorna, går det att urskilja vissa likheter i undersökningarna under åren. Gemensamt för resultaten under åren 2004–2023 är att det förekommer stora mängder skalgrus och organiskt material vid tubens mynning. Det finns däremot svårigheter att avgöra hur stora områdena som påverkas är eftersom filmningens utförande samt sikten i vattnet skiljt sig mellan åren. Mängderna döda fiskar från tuben har varierat mellan undersökningsåren. Nästintill samtliga år har levande organismer observerats, framför allt vanlig sjöstjärna (*Asterias rubens*) och strandkrabba. Dessa arter uppehåller sig sannolikt i området på grund av den gynnsamma tillgången på föda från tuben. Även krabbtaska (*Cancer pagurus*) har observerats vid flera undersökningar. Runt tubens mynning har det även varit vanligt med en del fisk som stubbar (*Gobiidae*), stensnulta och sjustrålig smörbult. Filmningen har vanligtvis genomförts under september månad, med några få undantag då den utförts under november. År 2018 uteblev filmningen på grund av dåligt väder och tekniska problem.

5. Diskussion

Undersökningarna inom det biologiska recipientkontrollprogrammet för Ringhals kärnkraftverk har genomförts sedan slutet av 1970-talet utan större förändringar eller längre avbrott. De samlade resultaten visar att driften i kraftverket med omfattande kylvattenanvändning har påverkan på närliggande miljö och dess organismer. Nyttjande av havsvatten som kylning vid elproduktionen orsakar omfattande förluster av fisk för de arter som sugas in i kylvattenintaget, framför allt av livsstadierna ägg, larver och yngel samt småväxta fiskarter. Dödligheten av fisk i kylsystemen har en negativ påverkan på både lokala kustnära fiskarter och fiskbestånd som lever i havsområdena vid svenska västkusten.

I utsläppsområdet för kylvatten sker en tydlig lokal uppvärmning av havsvattnet som skapar särskilda förhållanden för akvatiska organismer. Vid svenska kärnkraftverk finns ett generellt mönster om att varmvattenarter anlockas till kylvattenutsläppen under stora delar av året och kallvattenarter endast under senhöst, vinter och tidig vår (Ehlin m fl 2009). I området för kylvattenutsläppet vid Ringhals ser vi överensstämmande mönster där fiskarter och kräftdjur som föredrar varma vattenförhållanden attraheras till kylvattenutsläppet och påverkar därmed utformningen av fisksamhällena i området. Arter som däremot gynnas av lägre vattentemperaturer skyr området och vistas här endast under begränsade tider under vinterhalvåret (Ehlin m fl 2009). Förhållandena vid kylvattenutsläppet skapar även gynnsamma miljöer för arter som naturligt inte förekommer i den svenska floran och faunan. Flertalet främmande arter av alger som gynnas av höga vattentemperaturer och har etablerat sig i utsläppsområdet under åren och sprider sig över större områden. Främmande arter av kräftdjur och mollusker påträffas relativt regelbundet i utsläppsområdet och skulle på sikt ha förmåga till etablering och ha en möjlig negativ påverkan av ekosystemet.

5.1. Kylvattenintaget

De omfattande fiskförlusterna i kylvattenintaget utgör den största negativa effekten av driften på kärnkraftverket för omgivande miljö och fiskpopulationerna (Ehlin m fl 2009, Bryhn m fl 2014). Sedan Ringhals kärnkraftverk var fullt utbyggt år 1980 har elproduktionen successivt ökat och var som allra störst år 2018 med historiskt

högt produktionsresultat. Den ökade produktionen och därmed högre kylvattenflöden har genom åren haft negativ inverkan på flertalet kommersiellt och ekologiskt viktiga arter såsom torsk, sill, rödspätta, skrubbskädda och ål (Andersson m fl 2015). Eftersom undersökningarna inom programmet genomförs i lekperioderna under vinter och vår för dessa arter förekommer fiskförlusterna främst i livsstadierna ägg och larver, och kan därmed ha sitt ursprung från områden långt från kustområdet vid Ringhals kärnkraftverk. Omfattningarna av förlusterna för dessa tidiga livsstadier av fisk kan uppgå till hundratal ton för höstlekande sill och flertalet ton för vuxen torsk i Kattegatt (Andersson 2015). I samband med nedläggningen av reaktorerna 1 och 2 år 2020 har produktionen nästintill halverats och kylvattenflödet minskat betydligt. Trots nya driftsförhållanden finns inga tydliga trender om att förlusterna av fisk i kylvattenintaget har minskat, åtminstone för arterna rödspätta, torsk och sill. Under de senaste åren har dödligheten för dessa arter tidvis varit ovanligt stora och kan vara ett tecken på att förvaltningsåtgärderna med minskat kommersiellt fiske har gett effekter och bestånden återhämtat sig något.

Den sammanlagda fiskdödligheten vid kylvattenintaget är relativt stor och omfattar flertalet fiskarter. Vid undersökningarna förekommer dock stora variationer i resultaten mellan provtagningarna sannolikt beroende på årstid, vindar och havsströmmar. En styrka i undersökningarna är att kontrollerna genomförs med täta mellanrum, med provtagningar två gånger i veckan med Bongo- och Isaac-Kiddtrålen. Metodiken medför att sannolikheten är stor att insamlad data täcker tillfällen med höga- och låga förekomster av ägg, larver och yngelantalet fiskar, och att det totala resultatet ger en god uppskattning för hela provtagningsperioden. En svaghet i undersökningarna är dock att provtagningarna begränsas endast till en period under januari till april, och fokuserar endast på ett urval fiskarter som har stark koppling till kommersiellt fiske. Om undersökningarna med Bongo- och Isaacs-Kiddtrål skulle utökas och omfatta andra delar av året kunde det vara möjligt att få bra beräkningar av förluster för ytterligare fiskarter. På så sätt skulle utvärderingarna i kylvattenintaget innefatta större andel av fiskbestånden och bättre utvärdera kärnkraftverkets effekter på omgivande fisk samhällena och därmed få ett större ekologiskt fokus. Övervakningen av exempelvis glasål i kylvattenintaget skulle sannolikt ge en tydligare bild av mängden som förloras i silstationen om provtagningar genomfördes under sommarmånaderna juni och juli, då den mest intensiva uppvandringen av arten sker till närliggande vattendrag såsom Viskan (Sjöholm och Käll 2024).

5.2. Kylvattenutsläppet

Utsläpp av uppvärmt kylvatten från Ringhals kärnkraftverk utgör stor påverkan på omgivande fisk samhälle, framför allt i området för utsläppspunkten vid

Ringhalshalvön. Ryssjeprovfiskena visar tydliga skillnader i fisksamhällenas artsammansättning mellan påverkansområdet och referensområdet Vendelsö. Det uppvärmda vattnet gynnar ett fåtal arter som attraheras av förhållandena och uppehåller sig i utsläppsområdet, och utgör väsentliga delar av provfiskefångsterna. Dominansen av enskilda arter som exempelvis skärsnultra och strandkrabba påverkar artdiversiteten negativt, och effekterna av utsläpp av uppvärmt kylvatten från kraftverket blir påtaglig för omgivande miljö.

För samtliga delområden inom undersökningarna förekommer en svag trend med ökade fisktätheterna under sommarperioden i augusti. Dessa resultat är inte överensstämmande med andra provfisker som genomförs längs västkusten under augusti, exempelvis i de regionala kustfiskövervakningarna i områdena kring Kullen och Älgöfjorden (Lingman 2024). I kustområdena kring Ringhals påverkar utvecklingen till stor del av de arter som gynnas av varma vattentemperaturer, i synnerhet skärsnultra. I utsläppsområdet har fisksamhällena varit starkt påverkade av kylvattenutsläppen sedan kraftverket inledde produktionen och historiskt haft färre antal arter och lägre diversitet jämfört med referensområdet vid Vendelsö. Under de senaste åren finns dock en tendens att fisksamhällena i Vendelsö alltmer utvecklas mot hur sammansättningen av fisk ser ut i utsläppsområdet. Utvecklingen de senaste åren med höga tätheter av skärsnultra och relativt låga förekomster av rovfisk under sommarhalvåret tyder även på att funktionen i fisksamhällena påverkas och blir alltmer styrt av mesopredatorer. De generellt ökande vattentemperaturerna kan vara orsaken till utvecklingen, men även tecken om att driften i Ringhals kärnkraftverk har påverkan på ett större område än endast effektområdet för kylvatten. Den negativa utvecklingen för trofisk medelnivå har inte noterats vid andra provfiskeundersökningar längs västkusten de senaste åren (Svahn m fl 2023; Lingman 2024).

Noterbart är att utvecklingen som beskrivs ovan inte är helt överensstämmande med resultaten under april månad vid kallvattenfiskena. Under vårperioderna har tätheterna av fisk varit relativt oförändrade och har fått större inslag av nya arter i både effektområdet och referensområdet vid Vendelsö. Den stora dominansen av skärsnultra och strandkrabba i områdena bidrar till att artdiversiteten är låg och indikerar på tydliga effekter från kylvattenutsläppet. De senaste årens relativt stora fångster av torsk har dock bidragit till större diversitet i områdena och lett till att fisksamhällena nu utgörs av en större andel rovfisk. Under de senaste åren har torskbeståndet i Kattegatt befunnit sig på väldigt låga nivåer och flertalet förvaltningsåtgärder har införts (www.fiskbarometern.se). Resultaten från provtagningarna i kylvattenintaget och provfisket vid Vendelsö under april kan möjligen indikera att torsken uppvisar svag återhämtning och beståndet kan växa till sig under kommande år.

5.3. Utvärdering av provfiskena med ryssjor

Beståndsutvecklingen hos fisk i det omgivande kustområdet utanför Ringhals har studerats sedan mitten av 1970-talet, både i utsläppsområdet för kylvatten och i referensområdet vid Vendelsö. Undersökningarna har under åren bedrivits genom provfisker med småryssjor enligt standardiserad metodik. Under provfiskeperioden har det genomförts flertalet revideringar och förbättringsåtgärder i provfiskena för att utveckla undersökningarna. Inledningsvis genomfördes exempelvis provfiskena under hela kalenderåret och varje station fiskades en period om tolv dygn. Sedan 1983 begränsades provfisket och genomfördes under två separata perioder under april samt i augusti månad, med målsättning om att övervaka utvecklingen för så kallade kallvattenarter (april) och varmvattenarter (augusti). Därefter har undersökningarna kompletterats med ytterligare ett provfiskeområde, Norra Horta med måttlig påverkan av kylvattenutsläppet, längdmätningar av fångsterna, reducering av fiskeansträngningarna och registrering av omgivningsdata. Sedan 2002 har provfisket genomförts oförändrat och enligt metodik för aktuellt recipientkontrollprogram med provfisker i tre områden med sex stationer per område som undersöks vid nio dygn under månaderna april och augusti (Andersson m fl 2015). Utvecklingen av de olika fiskarterna över tid följs genom att beräkna antal per ryssja och natt i medeltal för varje art för respektive provtagningsperiod och område.

Inom den samordnade nationella och regionala miljöövervakningen i Sverige genomförs årligen provfisker för att övervaka utvecklingen av kustfiskbestånden (www.fiskbarometern.se). Provfiskena syftar till, likt inom recipientkontrollen för Ringhals kärnkraftverk, att beskriva förändringar över tid i fisksamhällena när det gäller artsammansättning, relativ förekomst av olika arter och storleksstruktur. Tillståndet för de lokala kustfisksamhällena är en viktig utgångspunkt för bedömning av miljöstatus i kustvatten, och för uppföljning av biologisk mångfald (Havs och vattenmyndigheten 2024). Under de senaste åren har Havs- och vattenmyndigheten riktat finansieringen för att utvärdera de befintliga provfiskena längs kusten, med syfte att undersöka om provfiskena genererar högkvalitativa data samt om resurserna kan nyttjas på bättre sätt och mer effektivt (Leonardsson m fl 2016; Appelberg m fl 2020). De huvudsakliga frågeställningarna för utvärderingarna har varit hur kustfiskövervakningen bäst kan anpassas för att kunna upptäcka förändringar över tiden samt för att få så säkra skattningar som möjligt av de parametrar som undersöks. Utvärderingarna har även inkluderat provfiskena med ryssjor, den mest förekommande metodiken som används på västkusten. Vid utvärderingen har använts traditionella metoder för skattning av varianskomponenter, beräkning av statistisk styrka, samt beräkning av den relativa osäkerheten i medelvärdesskattningar.

Provfiskena med småryssjor på västkusten inom den nationella- och regionala kustfiskövervakningen påminde tidigare till viss del om upplägget för provfiskena

i Ringhals med upprepade fisken vid samma stationer. Eftersom upprepade fisken vid samma stationer kan ge upphov till statistiska svagheter i samband med analyser av data föreslog utvärderingen ändringar i provfiskemetodiken. I utvärderingen fastslogs att kvaliteten i data skulle förbättras om antalet provfiskestationer ökade i antal och att upprepade fisken på samma stationer skulle upphöra. I stället för att upprepa provfisken på samma stationer föreslogs att resurserna skulle omfördelas och nyttjas för att skapa flera provtagningspunkter. Genom att utöka antalet stationer medför detta till att den statistiska styrkan förbättras och precisionen för exempelvis medelvärdesberäkningarna blir bättre. I utvärderingen nämndes provfiskena inom recipientkontrollen i Ringhals särskilt och föreslog att provtagningsdesignen skulle ändras för att efterlikna provfiskena inom den nationella- och regionala kustfiskövervakningen. Genom en sådan förändring skulle datakvaliteten förbättras och provfiskena skulle ge bättre förutsättningar att övervaka trender inom kustfisksamhällena över tid.

För att följa rekommendationerna i utvärderingen av provfiskemetodiken för ryssjefiskena, och implementera upplägget till recipientkontrollen för Ringhals AB, föreslås ändringar för momentet ”Fiskövervakning av kustfisksamhället” inom programmet till att följa metodiken i övervakningsmanualen för *Djupstratifierat provfiske med småryssjor* (Bergström och Karlsson 2016). Provfisken med småryssjor inom den nationella- och regionala kustfiskövervakningen genomförs med 70 stationer som fiskas stratifierat för olika djup. Av de stationer som fiskas återfinns 40 stationer inom 0-6 meter, 20 inom 6-10 meter och 10 stationer inom 10-20 meter djupintervall. För Ringhals recipientkontroll skulle det innebära att undersökningarna i effektområdet vid kylvattenutsläppet och referensområdet Vendelsö utökas till 70 stationer vardera, jämfört med dagens sex stationer, och fiskas vid ett tillfälle under april och augusti. Provfiskeområdena skulle utökas i storlek för att rymma samtliga djupstratifieringar. Provfisket skulle på detta sätt utvecklas till att större andel av fisksamhällena undersöks, provfiskeperioden skulle bli mer komprimerad och data ger bättre statistisk styrka. För att frigöra resurser inom programmet för att utforma provfiskena mer effektivt skulle undersökningarna i Norra Horta kunna avslutas. Syftena med provfisket i Norra Horta utgörs främst av att undersöka fisksamhällena som är måttligt påverkade av kylvattenutsläppet, och eventuella effekter av detta skulle ingå i analyserna inom provfisket för det utökade effektområdet.

I metodiken för djupstratifierat provfiske med småryssjor (Bergström och Karlsson 2016) ingår registreringar av förekomst av fisk och större kräfdjur, angivet som antal per art och längdgrupp. Längdgrupp mäts inom klassgränser om en centimeter för samtliga individer i fångsten. Viktregistreringar av fångsterna ingår inte som ordinarie variabel och är endast nödvändig om syftet är att även bedöma aspekter av kondition hos fisken (individens längd-vikt relation). För undersökningar av effekter från Ringhals kärnkraftverk på omgivande fisksamhälle

är det väsentligt att analysera längd-vikt relationerna i fångsterna, för att upptäcka eventuella fysiologiska responser hos fisk av uppvärmt kylvatten. En negativ effekt med provfisken där viktregistreringar ingår är att samtlig fångst avlider i samband med hanteringen. Ur djuretisk synpunkt finns det anledning att utveckla provfiskena inom recipientkontrollen för att på så sätt minska lidande hos fisken och undvika att den dör i undersökningarna. Det skulle vara möjligt att frånga viktregistreringarna i provfiskena och införa endast längdmätning av fångsterna, och samtliga fiskar och kräftdjur återutsätts direkt efter registrering.

För att trots allt skapa möjligheter till kontroll av eventuella fysiologiska effekter hos fisk av kylvattenutsläppet skulle särskilda undersökningar införas likt recipientkontrollerna vid exempelvis Forsmarks- och Oskarshamns kärnkraftverk. I dessa program ingår undersökningar för kontroller av kondition och gonadskador samt åldersanalyser och tillväxt, som genomförs i samband med provfisken under höstarna. Inom recipientkontrollen för Ringhals skulle liknande studier kunna genomföras under provfiskena under augusti och för någon lämplig förekommande fiskart i undersökningarna, exempelvis skärsnulta. Genom dessa förändringar skulle antalet individer som dör i provfiskena minska väsentligt och endast utgöras av de stickprov som tas för individkontroller av enskild art under augusti. Dessutom skulle programmet utvecklas med fysiologiska data och ge möjligheter till jämförelser av exempelvis kondition och tillväxtmönster mellan effektområde och referens.

5.4. Kontroll av utsläppstub

Undersökningarna vid utsläppstuben har genomförts sedan 2004 och utförts för att få en överblick för påverkan av utsläppen i närområdet från tuben. Eftersom undersökningen inte utförts med standardiserad metodik har det varit svårt att jämföra resultaten mellan år och rapporteringarna har huvudsakligen beskrivit hur området ser ut vid själva undersökningstillfället. För att mer systematiskt samla in data och i framtiden möjliggöra analyser av eventuella trender över tid behövs en tydlig och utarbetad metodik. Genom att utföra undersökningarna med tydlig metodik finns möjlighet till både kvalitativ- och kvantitativ data som kan analyseras på ett standardiserat vis. Önskvärt är att metoden kan avgöra hur stor yta som påverkas samt vilka organismer som finns i området.

Referenser

- Adill, A., Mo, K., Sevastik, S., Olsson, J., Bergström, L. (2013). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk - Sammanfattande resultat av undersökningar fram till år 2012. Aqua reports 2013:19. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 69 s.
- Andersson, J. & Jacobsson, A. 1980. Studier av glasål (*Anguilla anguilla*) i Väröområdet. Naturvårdsverket SNV PM 1347.
- Andersson, J. 1985. Fiskägg och fisklarver i kylvattenintaget för Ringhalsverket. Naturvårdsverket Rapport 3071.
- Andersson, J., Cardinale M., Fagerholm B., Hjelm J. & Pettersson E. (2011). Fiskförluster i kylvattenintagen vid Ringhalsverket. Kompletterande undersökningar 2006 – 2010. Fiskeriverket 15 s.
- Andersson, J., Fagerholm, B., Jansson, M. & Sundqvist, F. (2016). Biologisk recipientkontroll vid Ringhals kärnkraftverk. Årsrapport för 2015. Aqua reports 2016:4. Sveriges lantbruksuniversitet, Väröbacka. 44 s.
- Andersson, J., Bryhn, A., Fagerholm, B., Jansson, M., Lingman, A. & Wernbo, A. (2015). Biologisk recipientkontroll vid Ringhals kärnkraftverk. Sammanfattande resultat av undersökningar fram till år 2013. Aqua reports 2015:6. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 67 s.
- Appelberg, M., Mustamäki, N., Bergström, L., Sundqvist, F., Prista, N. och Olsson, J. 2020. Reviderat program för övervakning av fisk i kustvatten, Havs och vattenmyndigheten, Rapport 2020:2
<https://www.havochvatten.se/download/18.60662d6719060e439995beef/1723711349019/rapport-2024-12-marin-strategi-nordjon-ostersjon.pdf>
- Bergström, L., Jansson, M., Sundqvist, F. & Andersson, J. 2009. Biologiska undersökningar vid Ringhals kärnkraftverk 1979–2007. Fiskeriverket informerar, FINFO 2009:2.
- Bergström, L. och Karlsson, M. 2016. Djupstratifierat provfiske med småryssjor, Version 1:0, 2016-02-10.
<https://www.havochvatten.se/download/18.2daa1277152c4afdb3064e28/1708688555568/undersokstyp-provfiske-med-smaryssjor.pdf>
- Bryhn, A. C., Andersson J. & Petersson E. (2014) Mortality of European glass eel (*Anguilla anguilla* juveniles) at a nuclear power plant. International Review of Hydrobiology. Volume 99, Issue 4, pages 312–316, August 2014.
- Ehlin, U, Lindhal, S, Neuman, E, Sandström, O, Svensson, J (2009). *Erfarenheter från de svenska kärnkraftverken*. Elforsk, 09:79.(Ehlin, Lindahl et al.2009) *Elforsk rapport nr 09:79*
- Fagerholm, B & Andersson, J. 2005. Biologiska undersökningar vid Ringhals kärnkraftverk 1997-2001. Fiskeriverket Informerar, FINFO 2005:6. 23 s.

- Fagerholm B., Ljungberg P., Wernbo A. (2014). Biologisk recipientkontroll vid Ringhals kärnkraftverk. Årsrapport för 2013. Aqua reports 2014:2. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 52 s.
- Florin AB, Bergström U, Ustups D, Lundström K, Jonsson, P (2013). *Effects of a large northern European no-take zone on flatfish populations*. Journal of Fish Biology. 83(4), 939-62. <https://doi.org/10.1111/jfb.12097>
- Froese, R., U. Patkowski, S. Garthe and D. Pauly, 2004. A preliminary comparison of the trophic structure of some large marine ecosystems. ICES CM 2001/T:07, 6p. ICES, Copenhagen.
- Grimås, U., Jacobsson, A. & Neuman, E. 1988. Biologiska och radioekologiska undersökningar vid Ringhals kärnkraftverk 1968–1987. Naturvårdsverket rapport 3463, 1–26.
<https://karnkraft.vattenfall.se/ringhals/produktion/produktionshistorik>
- Havs och vattenmyndigheten (2024). Marin strategi för Nordsjön och Östersjön 2024–2029, Bedömning av miljötillstånd och socioekonomisk analys, Rapport 2024:12.
<https://www.havochvatten.se/download/18.60662d6719060e439995beef/1723711349019/rapport-2024-12-marin-strategi-nordjon-ostersjon.pdf>
- ICES (2024) Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). ICES Scientific Reports; 2024. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.25764978.v3>
- ICES (2023). Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eels (WGEEL). ICES Scientific Reports. 5:98. 175 pp.
URL: <https://doi.org/10.17895/ices.pub.24420868>
- ICES (2021). *Report of the Working Group on the Assessment of Demersal Stocks in the North Sea and Skagerrak (WGNSSK) 2021*. ICES Scientific Reports. 3 (66). <https://doi.org/10.17895/ices.pub.8211>
- Jaktén Langert W., Sjöholm J. & Käll F. (2024). Biologisk recipientkontroll för Ringhals kärnkraftverk – Årsrapport för 2023. Aqua notes 2024:9. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
<https://doi.org/10.54612/a.70fs8gu2l3>
- Kautsky, H. 1999. Miljöövervakning av de vegetationsklädda bottenarna kring Sveriges kuster. Mimeogr.version 20040513. Institutionen för Systemekologi, Stockholms Universitet. 33 s.
- Käll F., Falk A., Sjöholm J., Jaktén Langert W., & Nyquist N (2023). Biologisk recipientkontroll för Ringhals kärnkraftverk – Årsrapport för 2022. Aqua reports 2023:2. Uppsala: Institutionen för akvatiska resurser.
<https://doi.org/10.54612/a.28e6tnrfh8>
- Leonardsson, Kjell., Ericson Y., Olsson, J., Bergström, L. (2016). Optimerad övervakning av fisk i kustvatten. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2016:10
- Lingman Anna (2024). Faktablad – Resultat från övervakningen av kustfisk Kullen 2002–2023. Aqua notes 2024:5. Uppsala: Institutionen för akvatiska resurser. <https://doi.org/10.54612/a.1cfqacpohe>
- Naturvårdsverket 2004. Handledning för miljöövervakning. Undersökningstyp, vegetationsklädda bottenar, ostkust, Version 1. 2004-04-27.
- Oksanen J, Simpson G, Blanchet F, Kindt R, Legendre P, Minchin P, O'Hara R, Solymos P, Stevens M, Szoecs E, Wagner H, Barbour M, Bedward M, Bolker B, Borcard D, Carvalho G, Chirico M, De Caceres M, Durand S, Evangelista H, FitzJohn R, Friendly M, Furneaux B, Hannigan G, Hill M, Lahti L, McGlinn D, Ouellette M, Ribeiro Cunha E, Smith T, Stier A, Ter Braak C, Weedon J, Borman T (2025). *_vegan: Community Ecology*

- Package . R package version 2.6-10,
<<https://CRAN.Rproject.org/package=vegan>>.
- Pauly, D., Christensen, V., Dalsgaard, J., Froese, R. & Torres, F. (1998). Fishing down marine food webs. *Science* 279, 860-863.
- R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>. Wickham H, Averick M, Bryan J, Chang W, McGowan LD, François R, Golemund G, Hayes A, Henry L, Hester J, Kuhn M, Pedersen TL, Miller E, Bache SM, Müller K, Ooms J, Robinson D, Seidel DP, Spinu V, Takahashi K, Vaughan D, Wilke C, Woo K, Yutani H (2019). "Welcome to the tidyverse." *Journal of Open Source Software*, 4*(43), 1686. doi:10.21105/joss.01686<<https://doi.org/10.21105/joss.01686>>.
- Shannon, C. E. (1949). Communication theory of secrecy systems. *Bell Labs Technical Journal* 28, 656-715.
- Sjöholm, J. & Käll, F. (2024). Uppvandring av ålyngel i Viskan – Årsrapport för 2023. *Aqua notes* 2024:2. Uppsala: Institutionen för akvatiska resurser. 14 s.
- Svahn, E., Förlin, L., Faxneld, S., Parkkonen, J., Blass, M., Franzén, F., Heimbrand, Y., Käll, F., Lingman, A., Åkerlund, C., Olsson, J. (2003). Faktablad – Resultat från integrerad kustfiskövervakning 2023. *Aqua notes* 2023:16. Uppsala: Institutionen för akvatiska resurser. <https://doi.org/10.54612/a.55u5stujq0>
- Thoreson, G. 1992. Handbok för kustundersökningar, recipientkontroll. *Kustrapport* 1992:4, 1–87.
- Thoreson, G. 1996. Metoder för övervakning av kustfiskebestånd. *Kustrapport* 1996:3.
- Thörnqvist, S., Neuman, E. & Sandström, O. 1998. Biologiska undersökningar vid Ringhals kraftverk 1988–1996. *Fiskeriverket rapport* 1998:1, 57–76.
- Wootton, R. J., 1998. *Ecology of Teleost Fishes*, second edition.
- Yanygina, L.V., Kirillov, V.V. & Zarubina, E.Y. Invasive species in the biocenosis of the cooling reservoir of Belovskaya power plant (Southwest Siberia). *Russ J Biol Invasions* 1, 50–54 (2010). <https://doi.org/10.1134/S2075111710010108>