

## Effekter av miljøgifter på bestanden av polarmåke på Bjørnøya

### Sluttrapport til Svalbards miljøvernfond





# **Effekter av miljøgifter på bestanden av polarmåke på Bjørnøya**

Sluttrapport til Svalbards miljøvernfond

Kjell Einar Erikstad & Hallvard Strøm

Norsk Polarinstitutt er Norges sentralinstitusjon for kartlegging, miljøovervåking og forvaltningsrettet forskning i Arktis og Antarktis. Instituttet er faglig og strategisk rådgiver i miljøvern saker i disse områdene og har forvaltningsmyndighet i norsk del av Antarktis.

*The Norwegian Polar Institute is Norway's main institution for research, monitoring and topographic mapping in Norwegian polar regions. The Institute also advises Norwegian authorities on matters concerning polar environmental management.*

**Adresse:**

Kjell Einar Erikstad  
Norsk institutt for naturforskning (NINA)  
Framsenteret  
9296 Tromsø

Hallvard Strøm  
Norsk Polarinstitut  
Framsenteret  
9296 Tromsø

©Norsk Polarinstitut, Framsenteret, NO-9296 Tromsø  
[www.npolar.no](http://www.npolar.no), [post@npolar.no](mailto:post@npolar.no)

Forsidebilde:

Voksen polarmåke funnet død i Revdalen, Bjørnøya.  
Dødsårsaken er trolig høye nivåer av miljøgifter.  
Foto: Hallvard Strøm/Norsk Polarinstitut

Layout innsiden av rapport:

Vidar Bakken

Trykket:

Februar 2012

ISBN:

978-82-7666-290-0

ISSN

1504-3215

## FORORD

Polarmåke er sammen med isbjørn og fjellrev en av toppredatorene på Svalbard. Arten er utbredt over hele øygruppen, men det viktigste hekkeområdet ligger på Bjørnøya. Hekkebestanden på Bjørnøya har gått kraftig tilbake over de siste 30 årene, og arten ble kategorisert som «Nær truet» i den nye nasjonale rødlista som ble utgitt høsten 2010.

Årsaken til tilbakegangen i hekkebestanden på Bjørnøya skyldes trolig flere faktorer, men høye nivåer av miljøgifter hos de voksne fuglene er trolig en viktig faktor. Effektstudier utført på øya på 1990- og 2000-tallet har dokumentert negative effekter av miljøgifter både på reproduksjon og overlevelse.

Formålet med dette prosjektet har vært å sette sammen all tilgjengelig kunnskap både fra den langsiktige

overvåkningen som har pågått på Bjørnøya og effektstudiene utført på arten, med den hensikt å kvantifisere betydningen av miljøgifter for den observerte bestandsnedgangen hos polarmåke.

Vi takker Jan Ove Bustnes og Sigrid Engen for hjelp med tilrettelegging av data, og Tone Kristin Reiertsen og Hanno Sandvik for hjelp med dataanalysen.

Vi takker Svalbards miljøvernfond for økonomisk støtte til prosjektet.

Tromsø, 14. juni 2011

Kjell Einar Erikstad

Hallvard Strøm

## 2. SAMMENDRAG

Polarmåke er sammen med storjo den viktigste flygende predatoren på Svalbard. Den er utbredt over hele øygruppen, og hekkebestanden er estimert til å ligge et sted mellom 4000 og 10 000 hekkende par. Bjørnøya er det viktigste hekkeområdet for arten både på Svalbard og i Barentshavregionen, hvor bestanden ble anslått til ca. 2000 hekkende par i 1980. Bestanden av polarmåke på Bjørnøya har gått kraftig tilbake over de siste 30 årene, og arten ble derfor kategorisert som «Nær truet» i den nye nasjonale rødlista som kom høsten 2010. Årsaken til tilbakegangen skyldes trolig flere faktorer, men høye nivåer av miljøgifter hos de voksne fuglene er en viktig faktor.

Siden 1970-tallet har det hver sommer blitt funnet døde eller døende polarmåker på Bjørnøya. Obduksjon og analyse av disse fuglene har vist ekstremt høye nivåer av miljøgifter i hjerne og lever. Økologiske effektstudier utført på polarmåkebestanden på Bjørnøya fra 1997 og fremover har dokumentert negative effekter av miljøgifter både på reproduksjon og overlevelse.

I denne studien har vi utarbeidet prognosemodeller som kan gi oss kunnskap om hvilke faktorer som forårsaker denne negative trenden, og kvantifisere betydningen av miljøgifter for den observerte bestandsnedgangen. Modellene er basert på tilgjengelig informasjon og kunnskap om arten, inkludert data fra den langsiktige overvåkningen som har pågått på Bjørnøya siden 1986 i regi av MOSJ (Miljøovervåking Svalbard og Jan Mayen) og programmet SEAPOP (Seabird Populations). Vi har gjennom prosjektet sammenstilt publiserte data fra de ulike forskergruppene som har arbeidet på Bjørnøya på 1990- og 2000-tallet, i tillegg til å opparbeide de nødvendige dataseriene som er samlet inn gjennom den årlige overvåkningen som har pågått på Bjørnøya siden 1986.

### De viktigste resultatene

Analysen av de individmerkede fuglene i bestanden viser at forurensningsnivået har en sterk negativ effekt både på overlevelse og fangbarhet. Negative effekter på fangbarheten antyder at forurensningsnivåene ikke bare påvirker sannsynligheten for å overleve, men også sannsynligheten for at fugler som overlever skal være tilstede i kolonien i påfølgende år. Sannsynligvis er dette et signal om at de med høye nivåer generelt har dårlig helsetilstand og at de ikke har kapasitet til å reprodusere hvert år. Effekten på overlevelse er dramatisk høy og varierer fra overlevelse på mer

enn 90 % hos fugler med lave nivåer av forurensning til bare 40–50 % hos fugler med veldig høye nivåer. Det er også dokumentert en rekke negative effekter under reproduksjonen (egg, rugeadferd og ungevekt). Demografiske modeller viser at mye av den bestandsnedgangen vi observerer kan skyldes effekter av forurensning. Den viktigste årsaken synes å være redusert overlevelse av voksne, men også effekter av reproduksjon og overlevelse av unger fram til de starter å reprodusere etter 4–5 år, er medvirkende faktorer til den negative bestandsutviklingen.

Levedyktighetsanalysene viser at polarmåkebestanden innenfor studieområdet på Bjørnøya har høy sannsynlighet for utdøing dersom de negative faktorene som i dag virker på bestanden fortsetter å virke. Bestanden faller i kategorien «Kritisk truet». I dag er polarmåkebestanden klassifisert som «Nær truet» på den norske rødlista. Vår analyse viser at sårbarheten bør oppgraderes til «Sterkt truet». En viktig forutsetning her er hvorvidt bestandstrenden observert i studieområdet på Bjørnøya er representativ for resten av Bjørnøya og Svalbard. Dette bør utredes nærmere. Hvis vi fjerner den negative effekten av forurensning vil levedyktigheten være betydelig bedre, men havner likevel i kategorien «Nær truet». Trolig er også andre faktorer, som f.eks. næring og klima, med på å drive denne bestanden nedover.

### Miljøgevinst

Studiet er det første i sitt slag som prøver å kvantifisere effekten av miljøgifter på bestandsutviklingen hos en art, i dette tilfelle polarmåke på Svalbard. Vi kan dokumentere negative effekter på reproduksjon og overlevelse, og kvantifisere hvordan dette bidrar til den observerte bestandsnedgangen hos arten. Prosjektet bidrar til å klargjøre bestandssituasjonen for polarmåke på Svalbard, og danner grunnlag for en bedre vurdering av artens status ved neste revisjon av den nasjonale rødlista. Studiet understreker betydningen av det internasjonale arbeidet med å fjerne ut skadelige miljøgifter fra industriell produksjon, samtidig som det setter krav til forvaltningen i forhold til å minimere påvirkning lokalt på Svalbard. Videre foreslås forbedringer i dagens overvåking av polarmåke på Bjørnøya.

### Forslag til tiltak

1. Det bør gjennomføres studier for å avklare om bestandsutviklingen i studieområdet på Bjørnøya er representativ for resten av Svalbard. En

slik studie bør baseres på en gjennomgang av eksisterende data, kombinert med innsamling av nye data fra noen utvalgte kolonier på Spitsbergen og øyene i øst.

2. Polarmåke bør, dersom den negative trenden fortsetter, endre kategori fra «Nær truet» til «Sterkt truet» under neste revisjon av den nasjonale rødlista (2015). Dette forutsetter imidlertid bedre kunnskap om artens status over hele Svalbard.
3. Forurensingen som påvirker bestanden av polarmåke på Bjørnøya er langtransportert. Det internasjonale arbeidet med å fase ut disse stoffene må fortsette. Imidlertid er det viktig parallelt med dette arbeidet å redusere/minimere effekten av lokale faktorer som forstyrrelse gjennom ferdsløp og avlving for ulike formål (vitenskaplig, skjøtsel (dunvær), museale formål).
4. Det bør ses nærmere på sammenhengen mellom næringstilgang og effekten av miljøgifter på reproduksjon og overlevelse hos polarmåke.
5. Polarmåkens trekkruter og vinterområder bør kartlegges. En bør se nærmere på om den store variasjonen en finner i miljøgiftnivåer mellom individer kan relateres til trekkruter og vinterområder.
6. Den pågående overvåkingen av bestandsutvikling og demografi hos polarmåke på Bjørnøya i regi av MOSJ og SEAPOP bør utvides til å omfatte nivåer av forurensning på individnivå og effekter på vitale rater som reproduksjon og overlevelse, og hvordan disse faktorene varierer over tid.
7. I overvåkingen bør det legges vekt på nye stoffer som bromerte flammehemmere og polyfluorerte

hydrokarboner. Effekten av disse stoffene er mindre studert, men fordi de viser en mer jevn fordeling blant individene i bestanden, vil potensialet for negative effekter være større.

8. Det bør igangsettes studier for å fremskaffe data på overlevelse av unger og rekruttering av ungfugler inn i bestanden på Bjørnøya. Data på dette finnes i liten grad i dag, men kan potensielt ha stor betydning for bestandsutviklingen.

### **Hva er viktig for miljøforvaltningen?**

Studiet er det første i sitt slag som prøver å kvantifisere effekten av miljøgifter på bestandsutviklingen hos en art, i dette tilfelle polarmåke på Svalbard. Kunnskap om effekter er helt avgjørende for at forvaltningen skal kunne iverksette relevante tiltak. Det utføres mange studier på nivåer av miljøgifter i ulike organismer, men i svært få tilfeller er man i stand til å si noe om effektene av miljøgiftene på bestanden av de ulike artene.

Levedyktighetsanalysene viser at polarmåkebestanden innefor studieområdet på Bjørnøya har høy sannsynlighet for å dø ut dersom de negative faktorene som i dag påvirker bestanden fortsetter. Analysen viser at sårbarheten bør oppgraderes til «Sterkt truet». Dette må det tas hensyn til under neste revisjon av den nasjonale rødlista. For de fleste artene på rødlista må vurderingene gjøres på subjektivt grunnlag. For polarmåke på Svalbard kan vurderingen nå kvantifiseres og baseres på reelle data for bestandsutvikling.



## INNHold

Forord .....	3
Sammendrag .....	4
1. Innledning .....	8
2. Metoder og resultater .....	8
Deterministisk demografisk tilnærming .....	9
Produksjon og overlevelse av unger .....	9
Grunnmatrise for å kvantifisere bestandsutvikling .....	10
Prognosemodell .....	11
3. Diskusjon og konklusjon .....	13
4. Litteratur .....	15



## 1. INNLEDNING

Polarmåke *Larus hyperboreus* har en sirkumpolar, høy-arktisk utbredelse. I Nordøst-Atlanteren forekommer den på Grønland, Island, Jan Mayen, Svalbard, Frans Josefs land og Novaja Semlja. Fire underarter er vanligvis definert. Svalbardbestanden tilhører nominatrasen *L. h. gunnerus*. Polarmåke hekker over hele Svalbard, vanligvis i eller i nærheten av andre sjøfuglkolonier. Den kan også hekke på mindre øyer og holmer ved kysten med kolonier av ærfugl og gjess (Strøm 2007a).

Polarmåke er blant de største måkene som hekker i Arktis, og er sammen med storjo den eneste flygende predatoren av betydning på Svalbard. Polarmåke er en generalist som utnytter en rekke ulike byttedyr som fisk, bløtdyr, pigghuder, krepsdyr, egg, unger og voksne fugler av andre sjøfugler, insekter, kadavre og søppel. Fugler som hekker i eller i nærheten av sjøfuglkolonier spesialiserer seg ofte på egg, unger eller voksne fugler av andre sjøfuglarter (Strøm 2007a).

Polarmåke hekker vanligvis som enkeltpar eller i mindre kolonier (5–15 par), men enkelte kolonier kan telle over 100 par. Hekkebestanden på Svalbard er estimert til å ligge et sted mellom 4000 og 10 000 par. Bestanden i Barentshavet er anslått til 7000–17 000 hekkende par. Den europeiske bestanden er på opptil 140 000 par. Bjørnøya har den største kolonien på Svalbard og i Barentshavregionen (Strøm 2007a).

Hekkebestanden av polarmåke på Bjørnøya har gått kraftig tilbake de siste 30 årene. Bestanden ble estimert til å være ca. 2000 par i 1980 (Franecker og Luttk

1981), mens den i 1986, i forbindelse med totaltelling av sjøfuglbestandene på øya, ble estimert til å være ca. 2350 individer (Bakken og Mehlum 1988). En ny totaltelling i 2006 ga ca. 700 hekkende par (Strøm 2007b). Dette gir en reduksjon i størrelsesorden 65 % over de siste 30 årene.

Siden 1970-tallet har det vært funnet døde og døende polarmåker på Bjørnøya i hekkesesongen (Bourne og Bogan 1972, Gabrielsen m.fl. 1995). Obduksjon og analyse av vevsprøver fra disse fuglene har vist svært høye nivåer av ulike miljøgifter i hjerne og lever. Selv om dødsårsak ikke kan fastslås med sikkerhet, er det grunn til å tro at de høye miljøgiftnivåene er årsaken til fuglenes død, enten direkte (fysiologisk) eller indirekte gjennom for eksempel svekket kondisjon (Sagerup m.fl. 2009).

Som en følge av disse funnene ble det igangsatt flere studier fra 1997 og i årene fremover for å se på effekten av miljøgifter på blant annet reproduksjon og overlevelse hos polarmåke på Bjørnøya (Bustnes m.fl. 2003a,b). Disse studiene viste effekter på flere reproduktive parametre, blant annet overlevelse av unger, rugeadferd og overlevelse hos voksne fugler (Bustnes m.fl. 2003a,b, 2005). Imidlertid har ingen tidligere prøvd å kvantifisere betydningen av miljøgiftene for bestandsutviklingen hos polarmåke på Bjørnøya: vi vet at de høye nivåene av miljøgifter påvirker reproduksjonen og de voksne fuglenes overlevelse, men hvor mye bidrar dette til den observerte bestandsnedgangen vi ser hos polarmåke?

## 2. METODER OG RESULTATER

For å beregne bestandseffekter av forurensning har vi brukt to ulike tilnærminger. Den ene er en demografisk tilnærming hvor vi har beregnet bestandsendringer basert på input av demografiske trekk som produksjon av unger og overlevelse av unger og voksne. Kunnskapen om overlevelse og hekkesuksess er god (se under). Når det gjelder variasjonen i overlevelse av unger fram til de er kjønnsmodne i en alder av 4–5 år eksisterer det imidlertid svært få data. Vi har derfor her brukt en deterministisk tilnærming basert på gjennomsnittsverdier delvis hentet fra litteraturen (Gaston m.fl. 2009) og delvis fra detaljstudier fra bestanden på Bjørnøya (Bustnes m.fl. 2003a,b og data som tidligere ikke har vært publisert). Den andre tilnærmingen er en stokastisk modellering basert på årlig variasjon i vekstrater basert på overvåkingsdata.



En polarmåkehunn ligger død i reiret med tre unger under seg. Hannen står ved siden av. Analyser av vevsprøver fra den døde hunnen viste svært høye nivåer av PCB i blant annet hjernen.

Foto: Hallvard Strøm/Norsk Polarinstitutt

Den gjennomsnittlige årlige vekstraten og variasjon i vekstrater mellom år gir informasjon om de miljøforholdene bestanden har vært utsatt for i den perioden den har vært overvåket. Ved å bruke slike vekstrater er det mulig med en stokastisk tilnærming og beregne sannsynlig bestandstrend inn i framtida under ulike scenarier og også beregne levedyktigheten til bestanden etter kvantitative mål gitt av den internasjonale naturvernorganisasjonen IUCN.

### Deterministisk demografisk tilnærming

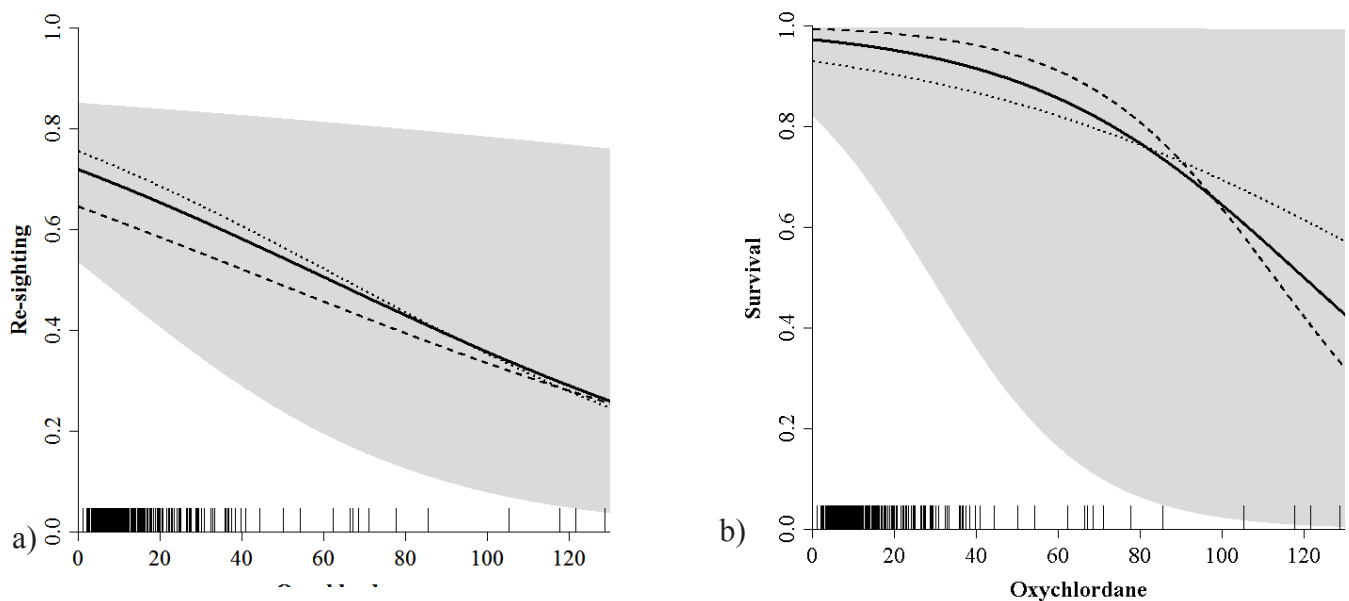
Overlevelse av voksne er det livshistorietrekket som potensielt har størst betydning for bestandsutviklingen hos en art som polarmåke, som kan oppnå en høy levealder. Ved hjelp av fangst-gjenfangstmetodikk har vi beregnet sannsynligheten for at de voksne skal overleve avhengig av nivåer av organokloriner (OC) målt i blod. Vi har her brukt stoffet oxyklordan, som er ett av stoffene i denne gruppen. Nivåer av oxyklordan er sterkt korrelert med andre organokloriner som polyklorerte bifenyler (PCB), hexaklorbensen (HCB) og diklordifenyltrikloretan (DDE), og er det stoffet som ser ut til å kunne påvirke de voksne mest (Bustnes m.fl. 2003a,b).

Estimatene fra denne analysen viser at høye forurensningsnivåer har en negativ effekt både på overlevelse og fangbarhet. Det er også en trend at

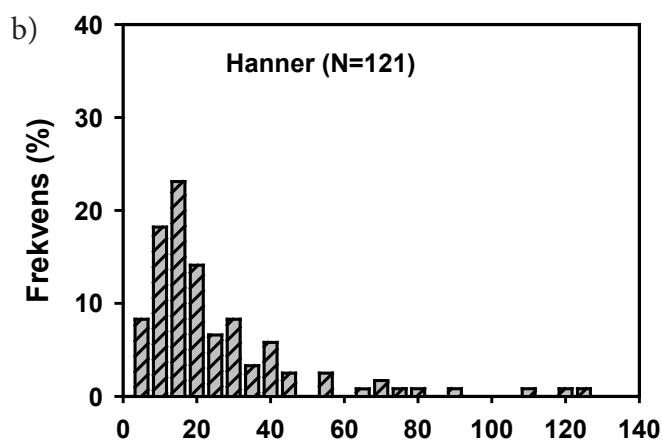
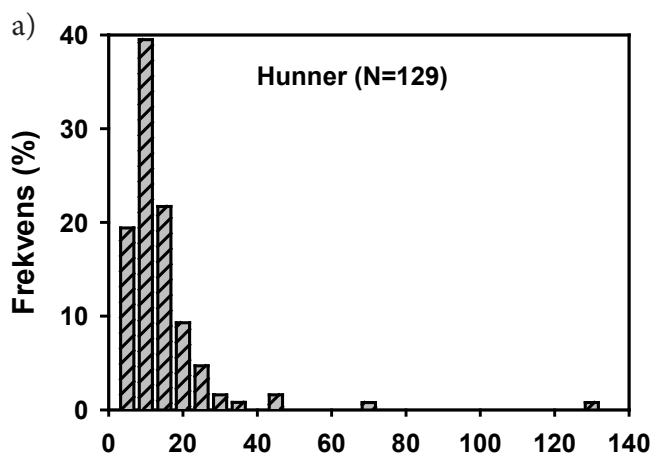
hunner har noe høyere overlevelse enn hanner ved lave verdier av oxyklordan, men at hunner synes å være mer negativt påvirket av høye nivåer enn det hanner er. Disse forskjellene er imidlertid ikke statistisk signifikante. Overlevelse avtar mye med økende nivåer av oxyklordan, men samtidig er det få individer i bestanden med slike høye nivåer (Figur 2). For å beregne effekten av redusert overlevelse på bestandsutviklingen har en skalert effektene i forhold til frekvens av individer som blir berørt. For å gjøre dette har vi brukt overlevelsesfunksjonen som vist i Figur 1 (gjennomsnittet av hunn og hann) og beregnet overlevelsen hos individer med lave nivåer ( $\leq 20$  ng/g,  $n=193$ ) som er lite berørt av forurensning og individer med høye nivåer ( $>20$ ng/g,  $n=57$ ) hvor effekten er sterkt negativ. Estimatene for overlevelse er for lave verdier av forurensning 0,92 og for høye nivåer 0,79. Skalert i forhold til frekvensen av høye og lave nivåer, og med det forurensningsnivået den har per i dag, gir dette en gjennomsnittlig overlevelse på 0,89 hos bestanden.

### Produksjon og overlevelse av unger

Produksjon av store unger har vært målt i denne kolonien i 12 år i perioden fra 1998 til 2010. Gjennomsnittlig ungeproduksjon er på  $0,74 \pm 0,12$  (SE) med en variasjon fra 0,3 unger til 1,54 unger per par i ulike år.



Figur 1. a). Beregnet sannsynlighet for fangbarhet (Re-sighting), dvs. sannsynligheten for at en fugl er tilstede hvert år, i forhold til forurensningsnivået i blod. Heltrukket linje angir gjennomsnittsverdier for hunn og hann, mens prikket linje angir hanner og stiptet linje angir hunner. Skyggelagt område angir 95% konfidensintervaller for beregnet sannsynlighet av overlevelse og fangbarhet. Vertikale linjer langs x-aksen angir frekvensen av oxyklordan hos ulike fugler. Totalt antall fugl som inngår i analysen er 150. b) Estimert overlevelse (survival) av polarmåke på Bjørnøya i perioden 1997–2004, i forhold til graden av forurensning, her angitt ved nivåer av oxyklordan i blod hos voksen fugl fanget på reir.



**Konsentrasjon av oxychlordan i blod (ng/g)**

Figur 2. Frekvens av oxychlordan i blod hos voksne hunner og hanner fanget på reir under rugeperioden. Nivåene i bestanden er generelt forskjøvet mot lave nivåer, og hunner (a) har noe lavere nivå enn det hanner (b) har. Det er spesielt tydelig at ekstreme nivåer av oxychlordan er mer vanlig hos hanner.

Det er registrert en rekke negative effekter på reproduksjonsparametre som:

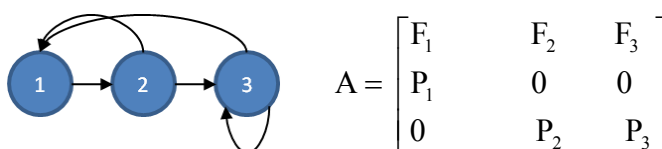
- Senere egglegging (Bustnes m.fl. 2003a).
- Lavere total kullmasse, dvs. antall egg x størrelsen på eggene (Verboven m.fl. 2009).
- Økt tid foreldrene er borte fra reiret under rugeperioden (Bustnes m.fl. 2001, 2005).
- Økt antall egg som ikke klekker (Bustnes m.fl. 2003a).
- Redusert klettevekt på unger (Bustnes m.fl. 2003a, Erikstad m.fl. 2010).
- Redusert vekstrate hos unger (Bustnes m.fl. 2005).

Det er imidlertid vanskelig å kvantifisere summen av alle disse effektene. Vi har derfor valgt å modellere ulike rater fra 5 til 50 % reduksjon i ungeproduksjonen pga. forurensning. En annen usikker parameter er overlevelsen av unger fra de forlater kolonien og fram til de rekrutterer til kolonien etter 4–5 år for å starte

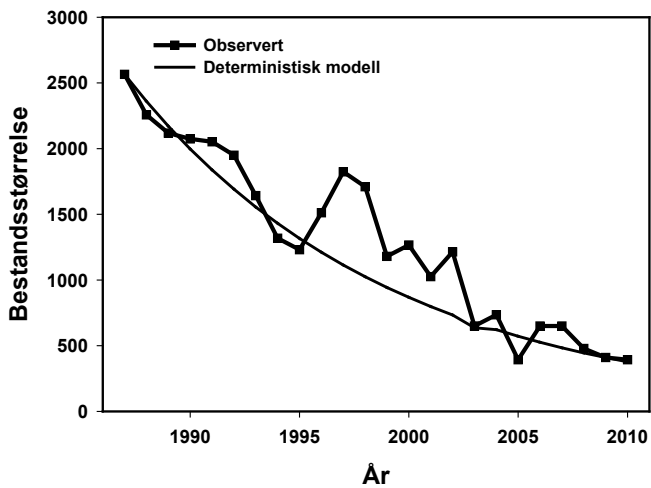
hekking. Også her har vi modellert betydningen av ulike verdier for å kunne kvantifisere betydningen av variasjonen på bestandsveksten.

### Grunnmatrise for å kvantifisere bestandsutvikling

Vi har brukt følgende enkle grunnmatrise for å beskrive den demografiske utviklingen i bestanden (Caswell 2001). Siden vi ikke kjenner til alderspesifikke reproduksjons- og overlevelsesserater har vi kun brukt tre stadier.



- F1 til F3 angir ungeproduksjonen i de ulike klassene. F1 er ungfugl som ikke reproduserer (de starter ikke før etter 4–5 år, Gaston m.fl. 2010). F2 angir ungeproduksjon det første året de starter å reproducere, mens F3 er ungeproduksjon hos voksne. P1 til P3 angir overlevelsen av fugl i de samme klassene, hvor P1 er ungeoverlevelsen fra ungene forlater kolonien og til de rekrutterer. P2 og P3 er overlevelsen til henholdsvis voksne det første året når de starter reproduksjon og overlevelsen til alle resterende voksne aldersklasser. Grafen til høyre viser hvordan fugl forflytter seg mellom de ulike klassene. Pilene mot venstre er unger som produseres av F2 og F3 og som utgjør rekruttene, mens piler mot høyre angir overlevelsen av voksne mellom de ulike klassene. Vi har så beregnet verdier til denne grunnmatrisen på følgende måte: F1 = 0, F2 har vi satt til 0,5 x gjennomsnittlig antall unger produsert. Vi har multiplisert med 0,5 siden vi antar at kun halvparten av fuglene starter reproduksjon så tidlig som etter fire år (Gaston m.fl. 2009). F3 er ungeproduksjonen hos voksne. P2 og P3 er voksenoverlevelse som vi har beregnet basert på fangst/gjenfangst analyser (se avsnittet under voksenoverlevelse). Vi modellerer kun bestandsutviklingen hos hunner og antar en lik kjønnsratio på 0,5, og multipliserer alle fekunditetsverdiene med 0,5. Vi får da følgende inputverdier for bestanden med det forurensningsnivået den har i dag: F1 = 0, F2 = 0,77 x 0,5 x 0,5 = 0,187, F3 = 0,77 x 0,5, F3 = 0,77 x 0,5 = 0,37. Overlevelse av voksne korrigert for effekter av forurensning er 0,89 for både P2 og P3. Årlig overlevelse av unger fram til rekruttering har vi så beregnet til 0,43 (dvs. 0,43 x 0,43 x 0,43 = 0,06 fram til rekruttering) for å få en bestandsutvikling tilsvarende den trenden en ser i bestanden (Figur 3).



Figur 3. Bestandsutvikling hos polarmåke innenfor studieområdet på Kapp Kolthoff, Bjørnøya, i perioden 1987 og fram til 2010 (stiplet linje) og estimerte trend basert på den demografiske modellen skissert over (heltrukken linje).

Dette gir da følgende matrise:

$$A = \begin{bmatrix} 0_1 & 0.185 & 0.37 \\ 0.06 & 0 & 0 \\ 0 & 0.89 & 0.89 \end{bmatrix} \quad \text{Matrise 1}$$

Når vi kjenner tettheten av individer i alle klassene ved tiden  $t$ ,  $n(t)$ , kan vi så beregne antall individer ved  $n(t+1) = A(t) n(t)$ .

Med utgangspunkt i denne modellen har vi så simulert mulige effekter av forurensning. Vi har gjort dette gjennom tre ulike simuleringer:

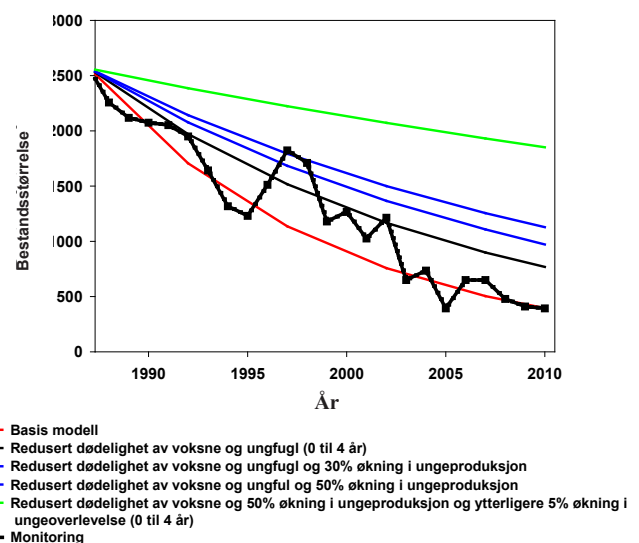
- Økt overlevelsen av voksne fra 0,89 til 0,915, som er verdien for fugler med lav forurensning. Økt tilsvarende verdien for overlevelse av ungfugl fram til rekruttering.
- I tillegg økt verdien av produksjon av unger med henholdsvis 30 og 50 %.
- I tillegg til dette, økt verdien av ungeoverlevelse (fra 0 til 4 år) med 5 %, når en samtidig har en økt produksjon av unger på 50 %.

Figur 4 viser resultatene fra disse simuleringene. Reduksjon i dødeligheten av voksne til verdien for fugl uten forurensning reduserer bestandsnedgangen betydelig, mens en økning i ungeproduksjonen til henholdsvis 20 % og 50 % har relativt mindre betydning. Derimot en økning på 5 % av overlevelsesraten på ungfugl fra første året og fram til rekruttering vil sammen med en økning i ungeproduksjonen sterkt redusere bestandsnedgangen. Overlevelse av ungfugl fram til kjønnsmodning er det livshistorietrekket med størst usikkerhet. Det fins

ingen slike tall for unger som er født av mødre med høye nivåer av forurensning og unger som er født av mødre med lave nivåer. Dette bør derfor være en prioritert oppgave for videre forskning. En økning i ungeoverlevelse på 5 % som brukt her er imidlertid et nøkternt estimat. Det gir en årlig overlevelse av unger på 0,49 % (0 til 4 år) sammenlignet med 0,43 % for hele bestanden inkludert forurensningseffekter.

### Prognosemodell

For å beregne prognoser og sårbarhet av polarmåkebestanden på Bjørnøya har vi brukt levedyktighetsanalyser som sier noe om hvor sårbar en bestand er for utdøing inn i framtida (Morris og Doak 2002). Ved hjelp av en stokastisk matematisk tilnærming beregner slike analyser sannsynligheten for at en bestand i løpet av et gitt tidsrom skal reduseres til en gitt terskel (et forutbestemt lavt antall individer), hvor man regner bestanden som tilnærmet utdødd (Morris og Doak 2002). En slik analyse vil forutsi utviklingen til bestanden i de kommende årene. Det er definert fire «rødkategori» (Tabell 1) som illustrerer graden av sårbarhet eller truet for arter. Kategorien «Kritisk truet» er den mest kritiske kategorien hvor sjansen for å dø ut innen 10 år eller tre generasjoner er 50 %, deretter kommer «Sterkt truet» med 20 % sjanse for utdøing innen 20 år eller fem generasjoner. Kategorien «Sårbar» har 10 % sjanse for utdøing innen 100 år og den minst kritiske kategorien kalles «Nær truet» med 5 % sjanse for å dø ut innen 100 år. En slik klassifisering gir gode muligheter for en objektiv vurdering av hvor truet en



Figur 4. Deterministiske modeller som viser betydningen av reduksjonen i graden av forurensning på bestandsutviklingen hos polarmåke på Bjørnøya. Utgangspunktet er matrisen som er skissert (1).

bestand er. For å plassere arter til ulike kategorier må en ta høyde for eventuelle andre bestander og i hvilken grad disse viser de samme trendene. Uansett vil en slik analyse gi en objektiv vurdering av sårbarhet til enkeltpopulasjoner. Polarmåke har en generasjonstid på ca. 12 år og vi bruker derfor generasjonstiden som er lengre enn det antall år som er angitt for å klassifisere graden av sårbarhet (Tabell 1.)

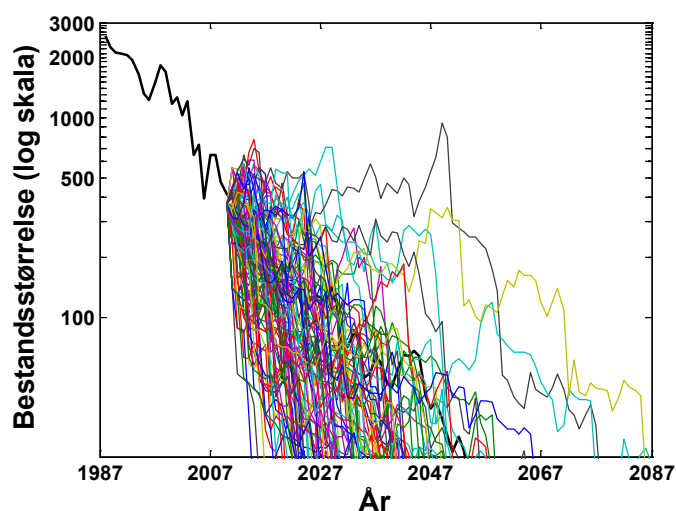
En slik analyse av polarmåkebestanden viser at prognosene er relativt dårlige for framtida. Bestanden faller i kategorien «Sterkt truet» (mer enn 20 % sjanse for utdøing innen fem generasjoner eller ca. 5 x 12 = 60 år; Figur 5 og 6). Per i dag er polarmåkebestanden klassifisert som «Nær truet» på den norske rødlista 2010 (Kålås m.fl. 2010; basert på subjektive vurderinger), men denne analysen viser at sårbarheten til denne bestanden er større og trolig bør oppgraderes til «Sterkt truet».

Tabell 1. Røddlistekategorier for klassifisering av arters sårbarhet. Definisjonene er utarbeidet av den internasjonale naturvernorganisasjonen IUCN. Klassifiseringen bygger på kvantitative beregninger (bestandsmodellering) av sannsynligheten for at en bestand skal dø ut innen en viss tidsperiode. For definisjon av kategoriene «Kritisk truet» og «Sterkt truet» brukes antall generasjoner når denne tida er lengre enn antall år. Eksempelvis er generasjonstida for polarmåke ca. 12 år.

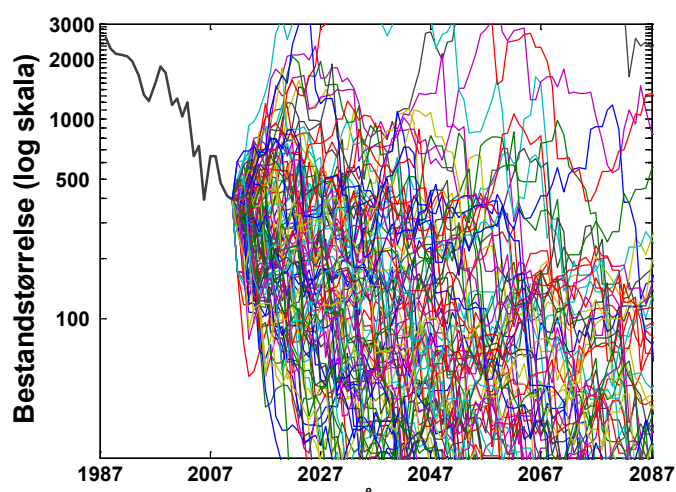
Kategori	Definisjon
Kritisk Truet	50 % sjanse for utdøing innen 10 år (eller 3 generasjoner)
Sterkt Truet	20 % sjanse for utdøing innen 20 år (eller 5 generasjoner)
Sårbar	10 % sjanse for utdøing innen 100 år
Nær Truet	5 % sjanse for utdøing innen 100 år



a) Med forurensningseffekter



b) Reduserte effekter av forurensning



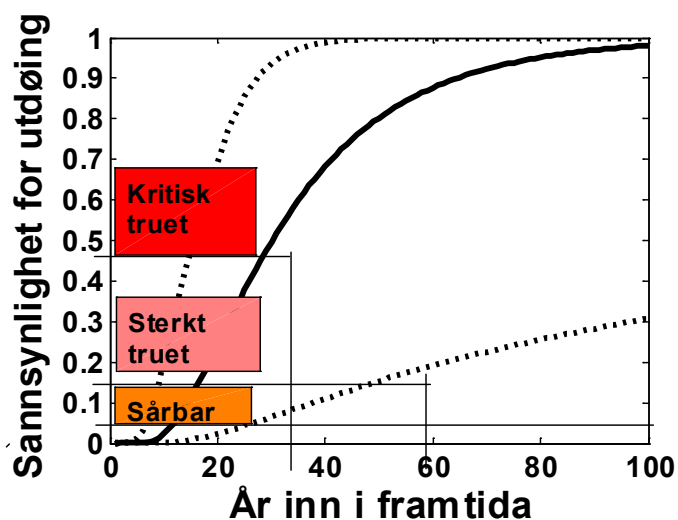
Figur 5. Stokastisk simulering av polarmåkebestanden inn i framtida. I perioden fra 1987 til 2010 er bestandsendringer basert på overvåking av bestanden vist som heltrukken linje. Fra 2010 og til år 2087 har en så simulert mulige bestandsscenarier basert på den miljøvariasjonen som har vært. Som utgangspunkt for disse simuleringene har en brukt observert variasjon i årlige vekstrater i perioden 1987–2010.

Tar en høyde for graden av forurensning her vil levedyktigheten øke betydelig (Figur 5 og 6), men likevel faller bestanden i kategorien «Sårbar» hvor det er ca 50 % sjanse for utdøing innen 60 år (fem generasjoner). Dette viser at også andre miljøforhold som eksempelvis klima og næring er med på drive denne bestanden nedover, men at høye forurensningsnivåer gjør denne nedgangen akutt verre.

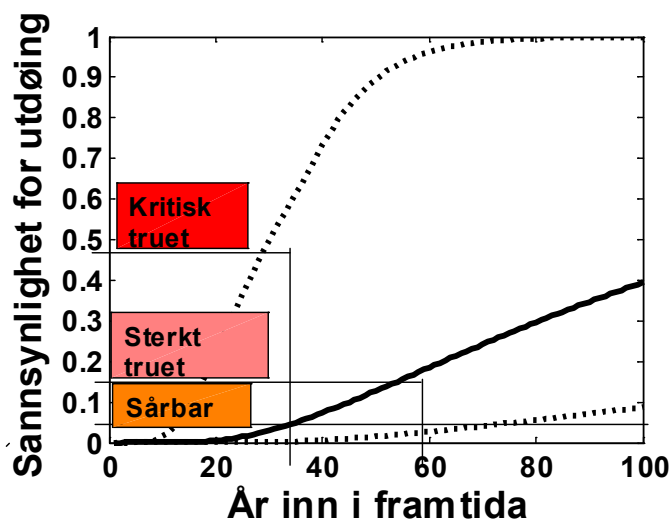
Unger klekt av mødre med høye nivåer av organokloriner (OC) har lav kroppsvekt og stor dødelighet i løpet av de første ukene etter klekking.

Foto: Hallvard Strøm/Norsk Polarinstitutt

a) Med forurensningseffekter



b) Uten effekter av forurensning



Figur 6. Sannsynligheten for at polarmåkebestanden på Bjørnøya skal nå en nedre terskel på ti par (utdøing). a) Sannsynligheten med forurensning, b) Sannsynligheten uten effekter av forurensning. Kvantitative kriterier gitt av IUCN (se tabell 1) er angitt med linjer. Heltrukket linje er gjennomsnittlig sannsynlighet, mens prikket linjer angir 95 % konfidensintervaller. Disse beregningene er basert på simuleringen vist i figur 5.

### 3. DISKUSJON OG KONKLUSJON

Analysene viser klart at nivåer av forurensning hos polarmåke på Bjørnøya har negative konsekvenser for bestandsutviklingen. Mest urovekkende er den negative effekten på overlevelse av voksne. Selv om kun en liten andel av voksne i bestanden har svært høye nivåer er effekten her veldig stor. Eksempelvis er årlig overlevelse hos voksne med lave nivåer 91,5 %, mens de med svært høye nivåer har en årlig overlevelse på bare 40 %. En slik redusert overlevelse gir en sterk reduksjon i forventa levealder. En årlig overlevelse på 40 % gir en forventa levealder på ikke mer enn 3–4 år, mens forventa levealder hos voksne med lave nivåer er på mer enn 25 år.

Høye nivåer av forurensning har også klare effekter på reproduksjonen (Bustnes m.fl. 2000, 2003a, Erikstad m.fl. 2010). Det er imidlertid vanskelig å kvantifisere denne effekten basert på tilgjengelig informasjon. Spesielt mangler det gode data på årlig variasjon i ungeoverlevelse fra første året og fram til de rekrutterer som hekkefugl til bestanden 4–5 år senere. Her har vi delvis brukt data fra litteraturen (Gaston m.fl. 2009) og beregnet gjennomsnittlig variasjon i overlevelsen ut fra hva som gir den observerte bestandsnedgangen. Dette gir konservative mål på effekten av ungeoverlevelse på bestandsutviklingen. Det er rimelig å anta at effekter av forurensning er større i år når miljøforholdene er dårlige (Bustnes m.fl. 2006). Et prioritert område for videre studier bør derfor være å beregne rekruttering av unger. Dette krever imidlertid at en fargemerker unger over flere år fra par med ulike forurensningsnivåer, og så beregner rekrutteringen (overlevelsen) av unger.

Prognoser for polarmåkebestanden på Bjørnøya er foruroligende. Dagens situasjon tilsier at denne bestanden kan klassifiseres som sterkt truet. Det er imidlertid lite sannsynlig at forurensning er eneste årsaken til denne nedgangen. Overvåking viser at bestanden er redusert fra ca. 2000 til ca. 700 par i perioden 1980 til 2006. Hvis en tar høyde for negative effekter av forurensning på overlevelse av voksne og hekkesuksess i samme perioden, viser demografiske modeller at bestandsreduksjonen blir sterkt redusert (til anslagsvis mellom 1500 og 2000 par). Andre faktorer som driver denne bestanden nedover kan være negative effekter av klima og næring, noe vi har lite kunnskap om i dag.

Det finnes gode empiriske data på at effekten av forurensning er liten når andre stressfaktorer er

mindre, og motsatt. Bustnes m.fl. (2006) gjorde et eksperiment på polarmåke på Bjørnøya hvor en fjernet innvollsparasitter ved å medisinerer voksne. En slik behandling fjernet den negative effekten av organokloriner (OC) på hekkesuksess. Det fins også tilsvarende studier på ugler som viser en slik samvariasjon mellom mengde OC og andre stressfaktorer (Gervais og Anthony 2003). Selv om nivåene av p,p'DDE varierte med mer enn fire ganger i løpet av undersøkelsen så var det ingen klar sammenheng mellom nivåer og hekkesuksess. Derimot var det en klar forsterket effekt av forurensning i år med lite smånagere (Gervais og Anthony 2003). Disse studiene viser klart at det ikke er nok å overvåke nivåer av forurensning i biologiske systemer. Selv lave nivåer i kombinasjon med andre stressfaktorer som f. eks. mangel på mat kan være kritiske.

Et karakteristisk trekk for nivåer av organokloriner er at nivåene hos ulike individer er veldig skjevt fordelt. Mange individer har relativt lave nivåer, mens det er få som har høye nivåer (Figur 2). Årsaken til dette er uklar, og det kan være flere mulige forklaringer. En forklaring kan være at en liten del av bestanden spesialiserer seg på en diett som består av en stor del egg. Dette gir dem høyere nivåer enn de som spiser f.eks. fisk, siden fisk generelt har lavere nivåer enn egg (Bustnes m.fl. 2000). En annen forklaring kan være at det er store forskjeller mellom individers evne til å tåle høye nivåer og/eller at individers evne til å metabolisere slike stoffer er veldig forskjellig. Alder kan også være en viktig faktor. Det synes naturlig at OC-nivåer skulle øke med alder, men resultatene tyder ikke på noen sammenheng mellom alder og nivåer av OC i måkebestander (Bustnes m.fl. 2003b). Tilsvarende resultater fins også for andre fuglearter (Newton m.fl. 1981). Det ser ut til at OC-nivåer øker tidlig i livet, for så å flate ut. En mulig forklaring på en slik sammenheng er at når nivåene når en viss terskel så har måker muligheter til å kvitte seg med slike toksiner, men at dette sannsynligvis medfører metabolske kostnader, uten at en kjenner til hvilke konsekvenser dette har for bestanden.

Det er også tydelig at hanner har høyere nivåer av forurensning enn hva hunner har. Spesielt er det hanner som ser ut til å ha de mest ekstreme nivåene. Dette kan tyde på at hunner har lavere toleranse for slike stoffer og/eller at de kvitter seg med slike stoffer når de legger egg (Verreault m.fl. 2006). Overlevelsesanalysen i dette studiet antyder at hunner kan være mer sårbare enn hanner for høye nivåer

(Figur 2). Disse forskjellene mellom hunner og hanner er imidlertid ikke statistisk signifikante.

Et annet påfallende resultat er at voksenoverlevelse hos individer med lave nivåer av forurensning er veldig høy (0,92). Det er tidligere gjort en analyse på overlevelse hos polarmåke fra arktisk Canada. Forurensningsnivåene i disse områdene er trolig lavere enn på Bjørnøya. Likevel er estimatet på overlevelse betydelig lavere i Canada (0,83; Gaston m.fl. 2009). Estimater fra Bjørnøya på fugl med lave nivåer av forurensning er også høyere enn estimater fra andre nærstående måkearter (0,89) (se oversikt i Gaston m.fl. 2009). Dette kan bety at miljøforholdene for polarmåke utenom hekkesesongen er veldig gode på Bjørnøya. En annen mulighet er at høye forurensningsnivåer som en ser på Bjørnøya skaper en kunstig høy seleksjon for «gode» individer som tåler høye nivåer (individer med lav toleranse dør tidlig). En slik mulighet bør studeres nærmere. Polarmåkebestanden på Bjørnøya har trolig over generasjoner vært utsatt for høye nivåer av organokloriner, noe som ville gjøre en slik kunstig utvelgelse av individer mulig.

Forurensningsnivået i polarmåkebestanden på Bjørnøya er betydelig (Verreault m.fl. 2010, Letcher m.fl. 2010). Som vist her er det klart at disse nivåene bidrar til den sterke bestandsnedgangen en observerer. Prognosene for framtida er også dårlige for denne bestanden og bestanden bør i størst mulig grad skjermes fra andre stressfaktorer. Effekter på bestandsutviklingen vil også være avhengig av andre stressfaktorer som f.eks. næringsmangel. Det er i dag stor oppmerksomhet rundt forventet klimaendringer og de effektene det kan ha på marine systemer. For enkelte arter er det forventet at nærings situasjonen blir forverret i noen områder, noe som kan resultere i at effekten av de forurensningsnivåene en har i dag vil bli forsterket. I en sirkumpolar studie fant Pettersen m.fl. (i manuskript) at polarmåke viser tegn til bestandsnedgang flere steder i Arktis, blant annet på Island og i Canada, i tillegg til Bjørnøya.

For en bedre forvaltning av polarmåkebestanden på Bjørnøya bør en utvide overvåkingen som pågår i dag. Eksisterende program bør utvides til å omfatte overvåking av både nivåer av forurensning på individnivå og effekter på vitale rater som reproduksjon og overlevelse, og hvordan disse faktorene varierer over tid. Spesielt er det viktig, som vist i denne undersøkelsen, å skaffe data på ungeoverlevelse og rekruttering av unger. Dette mangler i stor grad i dag, men kan potensielt ha stor betydning for bestandsutviklingen.

Miljøgiftovervåkingen bør også måle andre stoffer enn organokloriner. Nye stoffer som bromerte flammehemmere og polyfluorerte hydrokarboner dukker opp i stadig økende grad i miljøet. Effekten av disse stoffene er mindre studert, men et faresignal er at

de ser ut til å ha en mer jevn fordeling blant individer i en bestand (Bustnes m.fl., manuskript). Dette betyr at en større andel av individene blir berørt enn hva tilfelle er for OC, og dermed vil potensialet for negative effekter på bestander være større.

#### 4. LITTERATUR

Bakken, V. & Mehlum, F. 1988. AKUP – Sluttrapport sjøfuglundersøkelser nord for N74/Bjørnøya. Norsk Polarinstitutt Rapportserie Nr. 44. 179 s. Oslo.

Bourne, W.R.P. & Bogan, J.A. 1972. Polychlorinated biphenyls in North Atlantic seabirds. *Marine Pollution Bulletin* 3, 171–175.

Bustnes, J.-O., Erikstad, K.-E., Bakken, V., Mehlum, F. & Skaare, J.U. 2000. Feeding ecology and the concentration of organochlorines (OCs) in Glaucous Gulls. *Ecotoxicology* 9, 175–182.

Bustnes, J.O., Erikstad, K.E., Utne-Skaare, J., Bakken, V. & Mehlum, F. 2003a. Ecological effects of organochlorine pollutants in the arctic: A study of the glaucous gull. *Ecological Application* 13, 504–515.

Bustnes, J.O. Bakken, V., Skaare, J.U., & Erikstad, K.E. 2003b. Age and accumulation of persistent organochlorines: a study of arctic breeding glaucous gulls (*Larus hyperboreus*). *Environ. Toxicol. Chem.* 22, 2173–2179.

Bustnes, J.O., Miland, Ø., Fjeld, M., Erikstad, K.E. & Utne-Skaare, J. 2005. Relationships between ecological variables and four organochlorine pollutants in an arctic glaucous gull (*Larus hyperboreus*) population. *Environmental Pollution* 136, 175–185.

Bustnes, J.O., Erikstad, K.E., Hanssen, S.A., Folstad, I. & Skaare, J.U. 2006. Parasite-induced reproductive effects of environmental pollutants in an arctic seabird. *Proceedings of the Royal Society, Series B, Biological Sciences* 273, 3117–3122.

Caswell, H. 2001. Matrix population models. Construction, analysis, and interpretation. Sinauer Associates, Inc Sunderland, USA.

Erikstad, K.E., Moum, T., Bustnes, J.O. & Reiertsen, T. 2010. High levels of organochlorines may have detrimental effects on sex allocation strategies in

arctic glaucous gulls. *Functional Ecology* 25, 289–296.

Franeker, J.A. & Luttik, R. 1981. Report on the Fulmarus Glacialis-Expedition Bear Island July–August 1980. Verslagen en Technische Gegevens. Instituut voor Taxonomische Zoölogie (Zoölogisch Museum). Universiteit van Amsterdam. 21 p.

Gabrielsen, G.W., Skaare, J.U., Polder, A. & Bakken, V. 1995. Chlorinated hydrocarbons in glaucous gulls (*Larus hyperboreus*) in the southern part of Svalbard. *Science of the Total Environment*, 160/161, 337–346.

Gaston, A.J., Descamps, S. & Gilchrist, H.G. 2009. Reproduction and survival of Glaucous Gulls breeding in an Arctic seabird colony. *Journal of Field Ornithology* 80, 135–145.

Gervais, J.A. & Anthony, R.G. 2003. Chronic organochlorine contaminants, environmental variability, and the demographics of a burrowing owl population. *Ecological applications* 13, 1250–1262.

Kålås, J.A., Gjershaug, J.O., Husby, M., Lifjeld, J., Lislevand, T., Strann, K.-B., Strøm, H. 2010. Birds Aves. In: Kålås, J.A., Viken, Å., Henriksen, S. and Skjelseth, S. (eds.). The 2010 Norwegian Red List for Species. Norwegian Biodiversity Information Centre, Norway.

Letcher, R.J., Bustnes, J.O., Dietz, R., Jenssen, B.M., Jorgensen, E.H., Sonne, C., Verreault, J., Vijayan, M.M. & Gabrielsen, G.W. 2010. Assessment of persistent organic pollutants in Arctic wildlife and fish. *Science of the Total Environment* 408, 2995–3043.

Morris, W.-F. & Doak, D.F. 2002. Quantitative Conservation Biology, theory and practice of population viability analysis. Sinauer Associates Inc. Sunderland, USA



- Newton, I., Bogan, J. & Marquiss. 1981. Organochlorine contamination and age in sparrowhawks. *Environmental Pollution (Series A)* 25, 155–160.
- Sagerup, K., Helgason, L.-B., Polder, A., Strøm, H., Josefsen, T.-D., Skåre, J.-U., Gabrielsen, G.W. 2009. Persistent organic pollutants and mercury in dead and dying glaucous gulls (*Larus hyperboreus*) at Bjørnøya (Svalbard). *Science of the Total Environment*.
- Strøm, H. 2007a. Birds of Svalbard. In: Kovacs, K.M. & Lydersen, C. (eds.). *Polar Handbook No. 13*. Pp. 86–191. Norwegian Polar Institute.
- Strøm, H. 2007b. Distribution of seabirds on Bjørnøya. In: Anker-Nilssen, T., Barrett, R.T., Bustnes J.O., Erikstad, K.E., Fauchald, P., Lorentsen, S.-H., Steen, H., Strøm, H., Systad, G.H., & Tveraa, T. *SEAPOP studies in the Lofoten and Barents Sea area in 2006*. Pp. 50–52. Norwegian Institute for Nature Research (NINA). Report no. 249.
- Verboven, N., Verreault, J., Letcher, R.J, Gabrielsen, G.W. & Evans, N.P. 2009. Differential Investment in eggs by Arctic-breeding glaucous gulls (*Larus hyperboreus*) exposed to persistent organic pollutants. *The Auk* 126(1), 123–133.
- Verreault, J., Villa, R.A., Gabrielsen, G.W., Skaare, J.U. & Letcher, R. 2006. Maternal transfer of organohalogen contaminants and metabolites to eggs of Arctic breeding glaucous gulls. *Environmental Pollution* 144, 1053–1060.
- Verreault, J., Bustnes, J.O. & Gabrielsen, G.W. 2010. The Svalbard glaucous gull (*Larus hyperboreus*) as bioindicator species in the Norwegian Arctic: a review of 35 years of contaminant research. *Reviews in Environmental Contamination and Toxicology* 205, 77–116.