BK-0028

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
INSTITUTE OF MARINE RESEARCH

Snow crab on the Norwegian shelf in the Barents Sea

Stock assessment and quota advice 2020

Benthic resources and processes: Ann Merete Hjelset
Carsten Hvingel
Hanna Ellerine Helle Danielsen
Jan H. Sundet
Catch: Odd-Børre Humborstad
Terje Jørgensen
Svein Løkkeborg

November 2019

Advice on Snow crab

The Institute of Marine Research's advice for 2020

Catch options: Maximum catch in 2020 should not exceed 5500 tonnes. The management goal for a sustainable long-term fishery can be achieved with different risk tolerances. The probability that the fishing mortality exceeds F_{msy}, that the biomass will be lower than B_{msy} and that the stock will increase with different fishing options is as follows:

Catch options (tons)	4500	5000	5500	6000
Probability, fishing mortality > F_{msy}	30%	40%	50%	59%
Probability, file < B_{msy}	100%	100%	100%	100%
Probability, that stock increases	90%	82%	74%	64%

Fishing mortality should rarely have more than a 50% probability of exceeding F_{msy} (fishing catch that gives MSY). Over time, the stock should be close to B_{msy} to ensure maximum production and contribute to stability in a long-term fishery.

Minimum size: Minimum size of 100 mm shield width will ensure high value capture and protect the stock's reproductive potential.

Lockdown: Lockdown for fishing for a period from 1 July to 1 October should be maintained to protect snow crabs during the shell change period.

Ghost fishing: Requirements for the use of rotten thread (4 mm untreated cotton thread) in the traps to prevent accidental mortality, poor animal welfare and hidden harvesting.

Management objectives

The management goal for snow crab on the Norwegian continental shelf (ref. Ministry of Trade, Industry and Fisheries) *is sustainable harvesting which provides a basis for value creation for society, based on knowledge of how the species affect each other in the ecosystem*. This is to be achieved by balancing the sub-goals: 1) maximizing the long-term catch yield, and 2) minimize the risk of unwanted ecosystem effects.

Area with commercial fishing

The majority of the potential habitat for snow crabs on the Norwegian shelf (including the Fisheries Protection Zone off Svalbard) does not have crab densities that are of interest for commercial fishing. A limited area in the central Barents Sea has a high density of snow crab, and the stock advice for 2020 therefore only applies to this sub-area (Figure 2).

Status 2019, summary

Stock size
The snow crab population has increased significantly since 2010. The biomass of snow crabs larger than 100 mm shell width is estimated to be between 0.16-0.47 tonnes / km^2 (95% confidence interval), which corresponds to between 50 to 95% of B_{msy}. There is great uncertainty associated with this estimate.

Fishing mortality
Fishing mortality is estimated to be between 0.21 and 0.63 (95% confidence interval), which corresponds to from 0.4 to 1.7 times F_{msy}. There is great uncertainty associated with this estimate.

Production
The net production of the stock in 2019 (biomass available for fishing and / or stock growth) is estimated to be between 3,800 and 12,600 tonnes (0.08-0.28 tonnes / km^2 (95% confidence interval)). There is great uncertainty associated with this estimate.

Limitation in fishing season
The snow crab grows by changing shells, and for some time after the shell change, the shell is very soft. For a period of up to 9 months, the food content of the crab will also be low. Closing the fishery during the period with a lot of soft crab in the stock will reduce unnecessary mortality due to fishing, and a low value of the catch. Fishing in 2019 was closed in the period from 1 July to 15 September.

Spread
The snow crab has spread North and West in the Barents Sea and in 2019 will probably be found in all suitable habitats on the Norwegian shelf, but it is currently difficult to predict which areas will achieve catchable densities of snow crab. It depends on factors such as depth, temperature and available food.

Ecosystem effects
The biomass of snow crabs has gradually become large in the Barents Sea and it is therefore reasonable to assume that the crab will have an effect both as a predator on benthic animals and as a prey for fish. We have some studies that indicate that the snow crab can affect the benthic fauna. Studies show that the snow crab can also be a carrier of various parasites. With current knowledge, there is little to suggest that fishing for the snow crab will in itself have negative effects on other fishing resources.

Future perspectives
The snow crab is new to the Barents Sea ecosystem, and the population is likely to continue to grow. However, the ongoing warming of Arctic sea areas could affect the distribution of, and harvesting of the snow crab stock in our waters.

Insecurity
The snow crab is new to the Barents Sea ecosystem, and the population is likely to continue growing. However, the ongoing warming of Arctic sea areas could affect the distribution of, and natural increase of the snow crab stock in our waters.

Origin
The snow crab was first found on Gåsbanken Southeast of the Barents Sea in 1996. Genetic analyses show more similarities between crabs from the Barents Sea and the Bering Strait and the East coast of Canada than with crabs from West Greenland. The hypothesis is therefore that the crab has spread by migrating West from the Chukchi Sea, North of the Bering Strait and into the Barents Sea.

The background for the advice

The majority of the snow crab population is still found on the Russian shelf in the Barents Sea, with a declining density westwards inland on the Norwegian shelf. Data from the ecosystem cruise in 2019 indicate a somewhat increased distribution and density of snow crab on the Norwegian shelf. The coverage of the central areas in the Barents Sea was better in 2019 than in 2018 and the changes we are seeing are probably due to fewer captive individuals. It is expected that the distribution of snow crab will continue westwards and northwards.

This year, a separate cruise was carried out in the Fisheries Protection Zone near Svalbard. These surveys, together with individual snow crab finds Northwest and Southwest of Spitsbergen, confirm that large parts of the potential habitat for the snow crab are being colonized, but the density of crabs in these areas is too low to be of commercial interest.

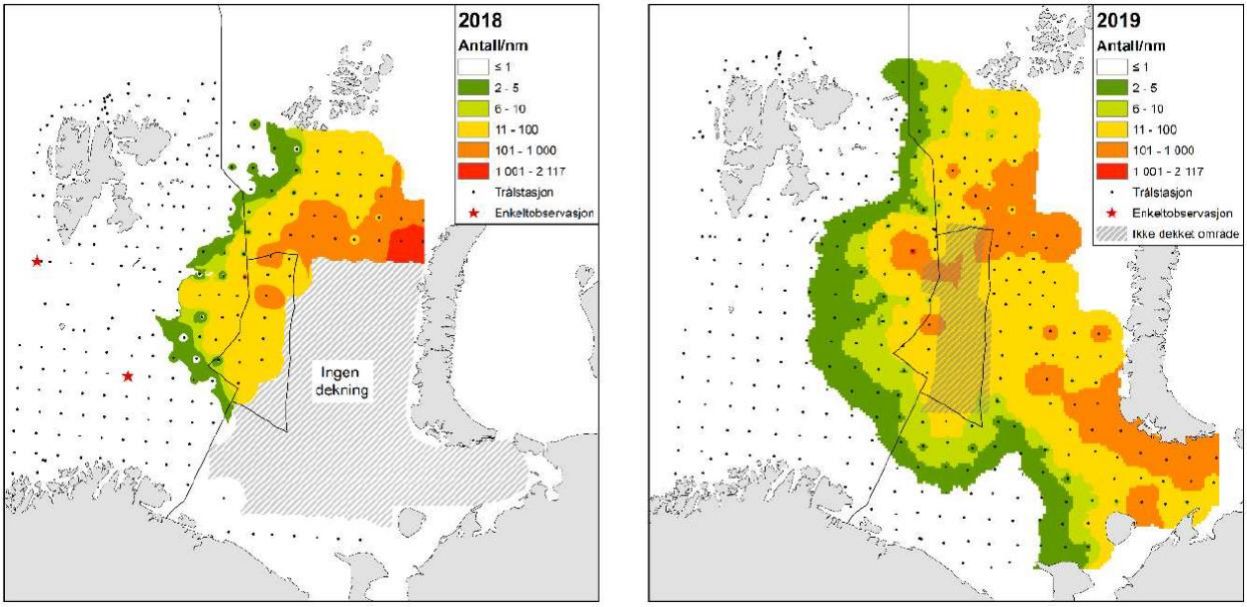


Figure 1. Distribution of snow crab in the Barents Sea for 2018 and 2019 based on the annual Norwegian-Russian ecosystem cruises.

The catch of snow crab on the Norwegian shelf still takes place in a concentrated area in the central Barents Sea. Positions from Norwegian snow crab vessels in the period 2012 to November 2019 show which area the fishing has taken place in the last 8 years (Figure 2). The fishing field has not changed significantly in the last three years after the fishery moved out of Smutthullet. Calculations of catchable volume of snow crab for 2020 are made within the same limited geographical area as in previous years.

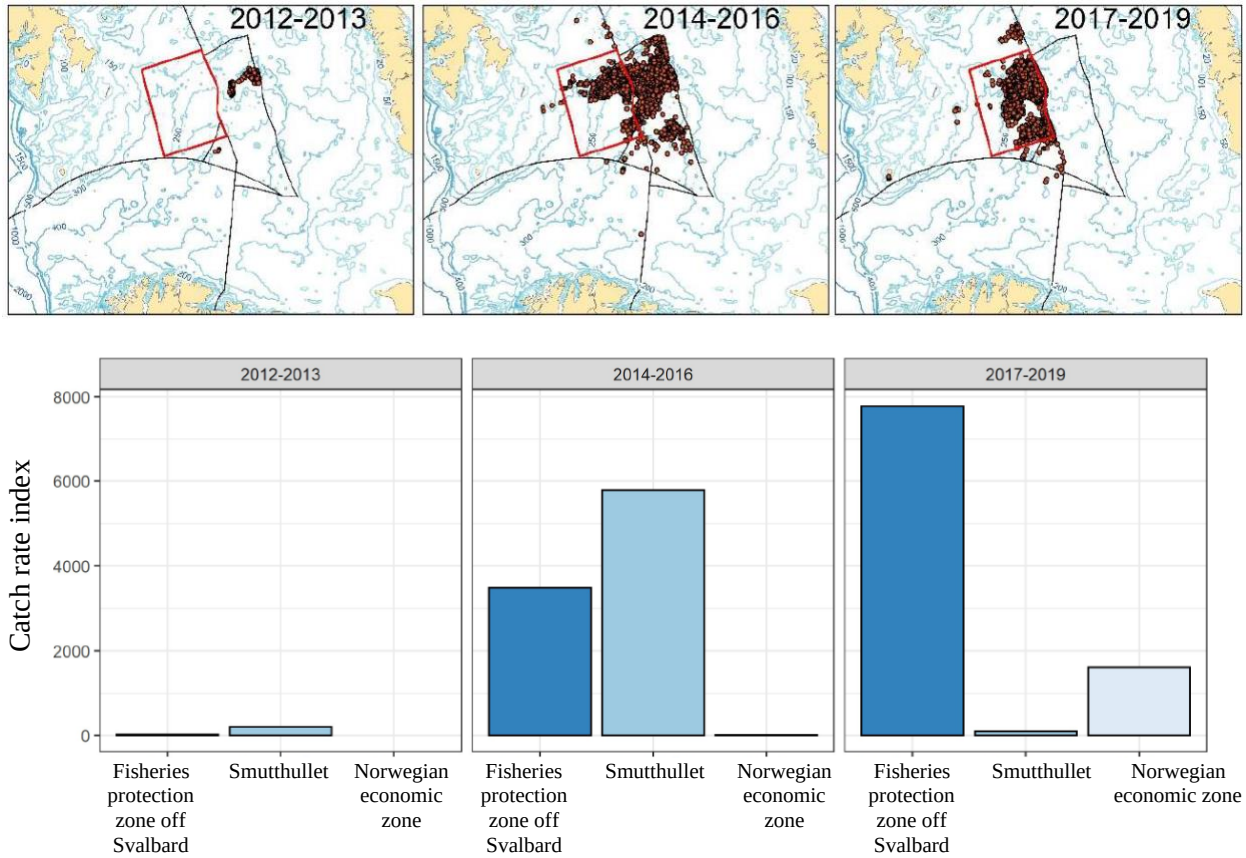


Figure 2. Catch positions from the fishery divided into three periods, 2012 - 2013, 2014 - 2016, 2017 - 2019 (upper panel). Landings in tonnes distributed over the three most used areas in the Barents Sea for the same three periods (lower panel). Data are taken from electronic catch diaries, the Directorate of Fisheries. The catch area for snow crab is defined within the square marked by red lines in the upper panel.

Management objectives for the snow crab on the Norwegian continental shelf

The Ministry of Trade and Industry has decided that the aim of the management of the snow crab is that there should be a sustainable harvest that provides a basis for value creation for society, based on the knowledge of how the species affect each other in the ecosystem. This is to be achieved by balancing the sub-goals: 1) maximizing the catch yield in the long term, and 2) minimizing the risk of unwanted ecosystem effects.

Sub-objective 1. The highest possible long-term catch yield is achieved by optimizing catch volume and catch rates. The compromise between the highest possible catch amount and catch rate is by harvesting where the fishing mortality is slightly below F_{msy}. Over time, this corresponds to biomass (catchable stock) that is close to B_{msy}. Such a standing stock will ensure high production and, at the same time, act as a buffer for variable natural increase and promote stability in the fishery.

The snow crab stock is relatively well protected against a failure in natural increase caused by fishing (depletion of the spawning stock) as long as the size of most sexually mature female crabs is lower than the minimum size for the male crab, and by releasing soft crabs and egg-bearing female crabs alive.

Fishing only on large males will normally ensure adequate production of fertilized eggs. A relatively high minimum size makes it possible to harvest the crab relatively hard. This means that most of natural increase of the catchable stock is harvested each year. The risk with such a strategy will be a more unpredictable fishery that will vary with large fluctuations in natural increase. Such a strategy is hardly desirable for the seafood industry, although high harvesting can be justified on biological grounds. A desire for stability and longevity in the fishery therefore requires that the standing stock of snow crab above the minimum size is so large that it can be a buffer against the variations in natural increase. It is common for natural increase to different catchable fishery resources to vary widely between periods or years. We do not have good data on this for the snow crab population in the Barents Sea.

References for goal achievement, sub-goal 1:
Based on the above considerations, the qualitative management objectives have been reformulated into the following measurable references that form the basis for the advice:

- F_{msy}: The fishing mortality that gives the maximum long-term yield should have a maximum of 50% probability of exceeding F_{msy}, normally this probability should be less than 35%.
- B_{msy}: The stock should be at a level close to B_{msy} to ensure maximum production of catchable snow crab and contribute to the stability of the fishery (B_{msy}: The stock size that gives MSY).
- Minimum size: The size of the snow crab that ensures that the reproductive potential of the stock is not restricted, that the stock is not fished down, but provides an optimal economic return.
- Catch season: Period of the year that maximizes the economic value per male crab caught and protects it during the shell change period.

Sub-goal 2. We have little knowledge about the effects of the snow crab on the ecosystem. Modelling indicates little effect on other commercial fishery resources, but it seems to be able to affect the benthic fauna. A reduction in the amount of snow crab is therefore the only measure to minimize the impact on the benthic fauna. HI and others are working to increase the level of knowledge about possible ecosystem effects.

Stock

Fishing
The first catch of snow crab was landed in 2012. All registered Norwegian vessels could catch snow crab in the Norwegian economic zone, in the Fisheries Protection Zone off Svalbard and in the international waters of Smutthullet. Up to and including 2016, much of the fishing took place on the Russian shelf in Smutthullet. On January 1, 2017, the Russian part of Smutthullet was closed to vessels other than Russian, and since then Norwegian fishing has taken place in the Fisheries Protection Zone off Svalbard and in the Norwegian part of Smutthullet (Figure 2). In 2017 a catch limit was introduced in Norwegian fishing. For an overview of landings and quotas (Table 1).

Table 1. Recommended catch options for Norwegian quota, fixed quotas and catches of snow crab (in tonnes) in the Barents Sea in the period from 2012 to 2020 by nation.

Year	Recommended catch options	Fixed quotas (tonnes)		The country (tonnes)			Total country (tonnes)
		Norwegian	Russian	Norway	Russia	EU countries	
2012		-	-	2	0	0	2
2013		-	-	189	62	0	251
2014		-	-	1,800	4,104	2,300	8,204
2015		-	1,100	3,482	8,895	5,763	18,140
2016		-	1,600	5,290	7,520	3,690	16,500
2017	3,600-4,500	4,000	7,840	3,153	7,780	2	10,847
2018	4,000-5,500	4,000	9,840	2,804	9,728	-	12,532
*2019	3,500-5,000	4,000	9,840	*3,775	9,840	-	*13,615
2020	< 5,500						

* Base data as of 19 November 2019

Catch rate

As of 2019, 62 Norwegian boats have a dispensation to fish for snow crab, but only 11 vessels have been active this year. The fishermen keep electronic catch diaries, and from May 2015 they were also required to report effort (number of traps per link). Data from the catch diaries show that an average of 200 traps are fished per link, but up to 2000 traps per link have also been registered. Based on information in the catch diaries, a catch rate index has been calculated that shows the relative change in catch in the period 2015 - 2019 (Figure 3). The catch rate index is shown as a median of the number of kilos of snow crab caught per trap for each month and year in relation to an average kilo catch of snow crab per trap for the entire data set. The index varies from below 0.5 to above 2.5. After access to Smutthullet was closed (January 2017), the relative catch rate index gradually declined and remained at a lower level until spring 2018. After fishing was closed in the summer of 2018, we had an increase in the catch rate index and a new peak in May 2019. A low catch rate index in September and October can probably be explained by the fact that the quota was fished up shortly after the fishing started up again in September 2019.

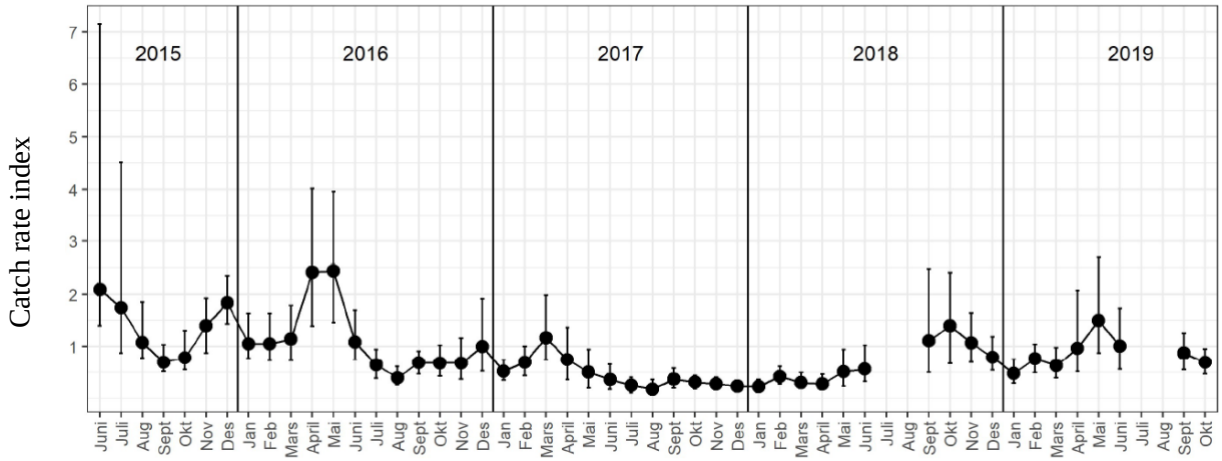


Figure 3. Catch rate index calculated from reported catch and effort (number of traps) in electronic catch diaries in the period June 2015 to October 2019. The index is the median catch per trap scaled in relation to an average catch rate for the entire period. The data basis is taken from Electronic Catch Diaries, Directorate of Fisheries.

The base data

The stock assessment is based on data from the annual Norwegian-Russian ecosystem cruises, catch data from the fishery (Table 1) and existing knowledge from the stocks on Canada's East coast and the eastern Bering Sea. In addition, new analysis of the Barents Sea cod's consumption of snow crab were used this year as an additional measure of stock development and catch rate from electronic catch diaries (Figure 4).

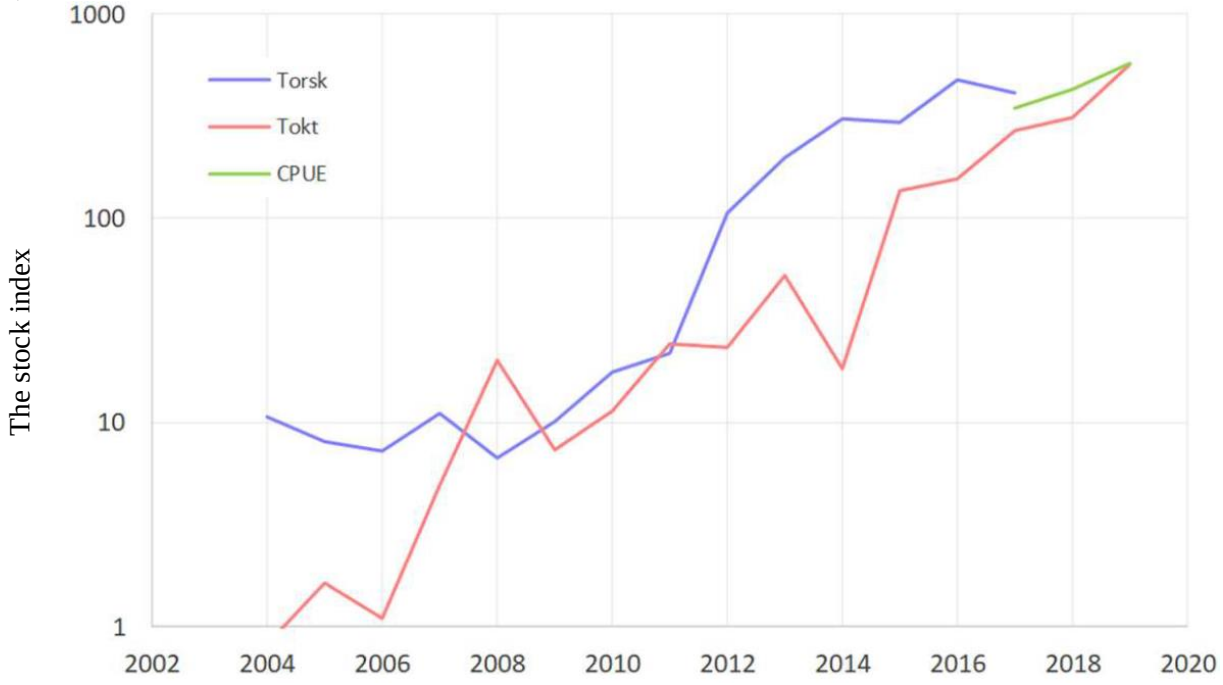


Figure 4. Biomass index based on data from the Norwegian-Russian ecosystem survey cruise in the Barents Sea, analysis of the volume of snow crab found in cod stomachs and catch rate (CPUE) from electronic catch diaries.

Calculation methodology

Data from the ecosystem cruise and the fishery are calibrated in a mathematical model that is used to describe the stock development for the entire Barents Sea. The model assumes a logistical population growth and is a so-called Bayesian model which, in addition to population and landing data, can use other relevant information (Hvingel and Kingsley 2006). These are entered as a probability distribution for the relevant variables (so-called "priors") such as carrying capacity (K) and maximum yield (MSY) (Figure 5). The less data we have, the more these priorities will drive the model.

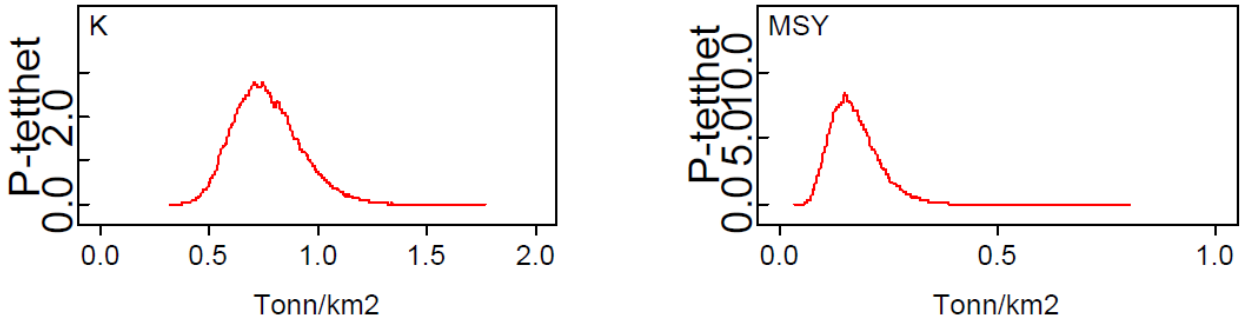
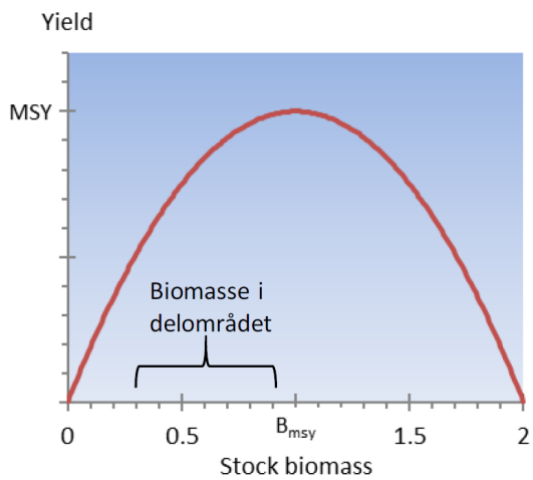


Figure 5. Model input: Priors indicated by probability density (P-density) for carrying capacity (K) and maximum yield (MSY), based on estimates for the snow crab population in Canada.

Stock development, fishing mortality and production

It is not possible to make an independent estimate of the biomass in the area defined as a catchable area on the Norwegian shelf. The snow crab is new in the area and the population is growing, at the same time as it has been relatively heavily harvested in the period 2015-2017: the population must therefore be far from the carrying capacity (K), and probably well below B_{msy}. Therefore, we have chosen to give this parameter a relatively broad uniform probability distribution ($0.3B_{msy}$ and $0.9B_{msy}$) (Figure 6). Compared with the estimate by B_{msy}, this means that the biomass of snow crabs larger than 100 mm shell width is estimated to be between 0.1-0.41 tonnes / km^2 (95% confidence interval) (Figure 7). However, there is great uncertainty associated with this estimate.



Biomasse I delområder = Biomass in sub-areas

Figure 6. Estimated interval for biomass of catchable snow crab in the Norwegian zone (see Figure 2) relative to B_{msy} (the biomass of snow crab that allows a maximum yield).

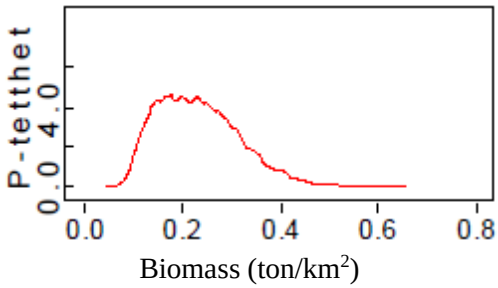


Figure 7. Estimated probability density (P-density) for catchable biomass per km^2 in the subarea (see Figure 2).

The fishing mortality in the sub-area (Figure 2) in 2018 is related to registered landings of 2804 tonnes and is estimated to be between 0.19 to 0.75 (95% confidence interval) (Figure 8), which corresponds to between 0.25 and 1, 40 times F_{msy}. There is great uncertainty associated with this estimate.

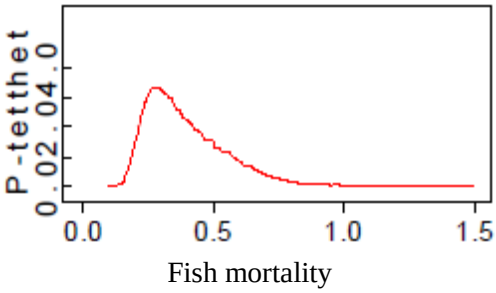


Figure 8. Estimated probability density for fishing mortality in the sub-area (see Figure 2).

Estimates of MSY and K for the entire population (Figure 5) are assumed to also apply to the sub-area; the catchable area in the Norwegian administrative area (Figure 2). The total area is estimated at approximately 50,000 km^2 and most can be assumed to be suitable snow crab habitat (depth between 100-500 m; bottom temperature -1 to 4 ºC). Total estimates for MSY and K are then scaled to an estimated habitat size of 45,000 km^2.

Projection The spread of snow crab westwards and northwards in the Barents Sea is expected to continue. A number of individual finds of snow crabs have been made Northwest, West and Southwest of Svalbard in recent years. The last single registrations of snow crab have been made inside Kongsfjorden on the West coast of Spitsbergen. What we have of information from the last year together with the ecosystem cruise data and data from our own snow crab cruises, shows that the snow crab is now widespread in large parts of the potential habitat (limited by the shelf's distribution) (Figure 9). Changes in the bottom temperature can have an effect on the further distribution, as the snow crab prefers cold temperatures.

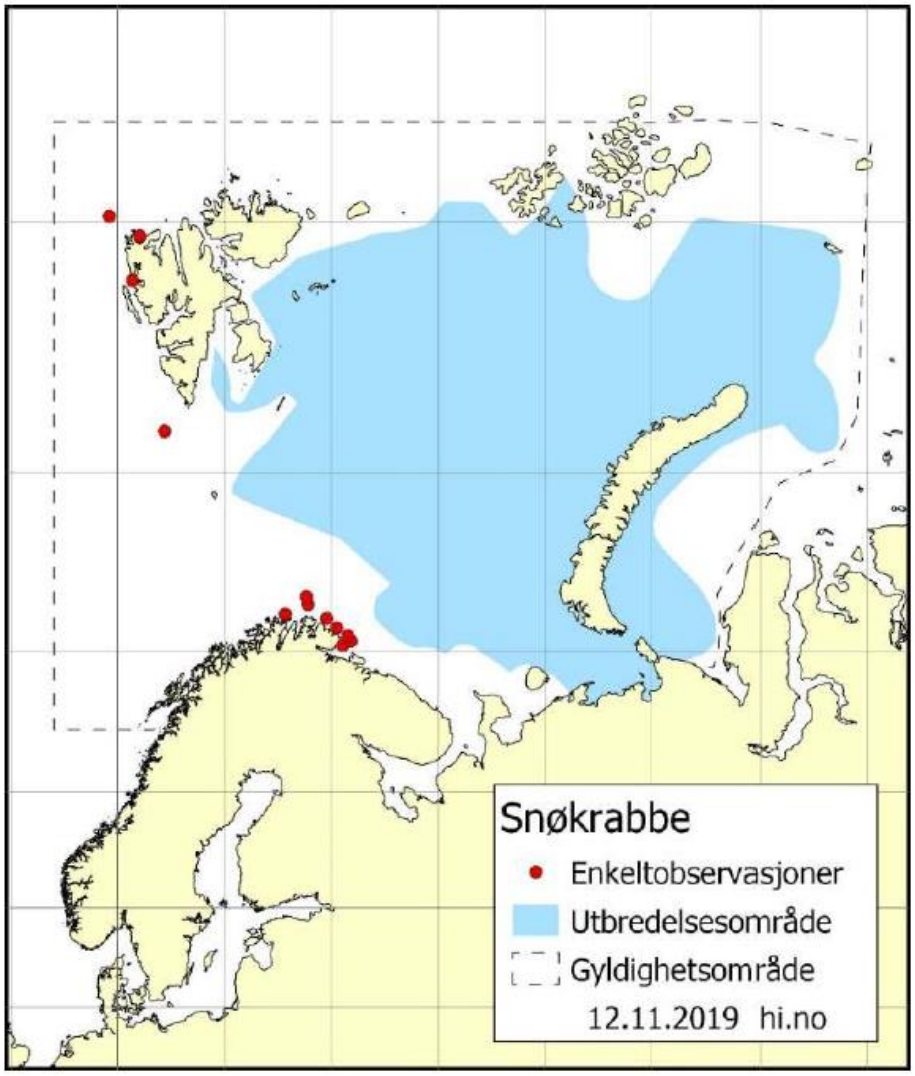


Figure 9. Current distribution of snow crab in the Barents Sea based on knowledge from the past year. There is also a significant amount of snow crab in the Kara Sea.

The biomass of snow crab in the sub-area (Figure 2, catchable area) is expected to increase in the coming years given a balanced fishing pressure both in and outside the sub-area. It is currently not possible to make long-term forecasts for the sub-area. A general projection of expected catch development in the entire Barents Sea, given sustainable fishing, indicates a steady increase as the crab spreads further into the Norwegian management zone and the density increases (Figure 10).

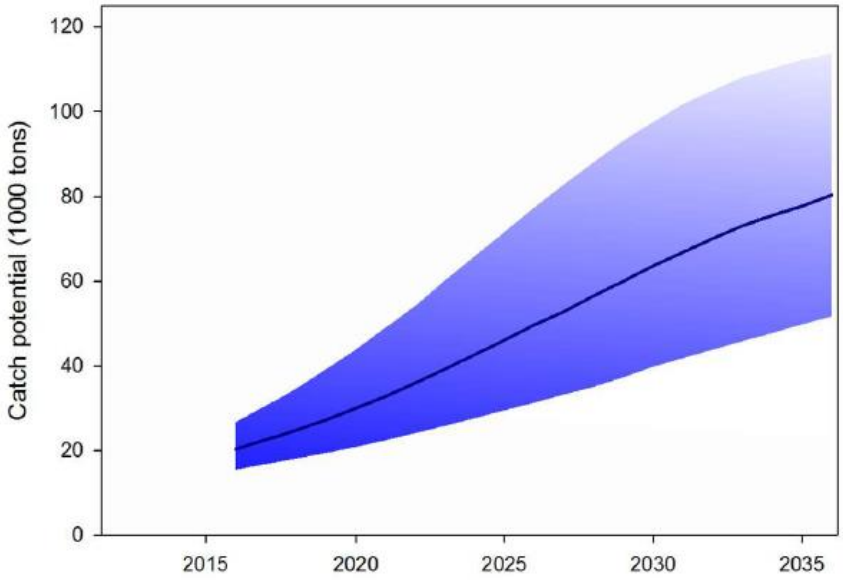


Figure 10. Estimated median catch potential for the entire Barents Sea given a snow crab fishery near F_{msy} with a 95% confidence interval (blue area).

Knowledge status of the snow crab in the Barents Sea

Effects of the snow crab on the ecosystem

With current knowledge, there is little to suggest that the snow crab will have negative effects on other fishery resources, but Russian studies indicate that the crab affects the bottom ecosystem in the Barents Sea. However, the biomass of snow crabs is large and it can be assumed that the species plays a significant role in the ecosystem, both as a predator on other benthic animals and as prey in both the pelagic and the benthic stages. Stomach analysis show that the snow crab eats a varied selection of organisms where mussels and brushwood seem to prevail. Research in this area is ongoing and publication of the results is expected in 2020 (Sundet et al.).

We know that the king crab has effects on the ecosystem (Oug et al. 2011, 2017). In benthic communities where adult individuals graze, there have been a set of changes in both total biomass and species composition. In areas with extensive grazing, a shift has been found from (larger) slow-growing multi-brush land to (smaller) more fast-growing species. Both the species richness and the biomass of the prey community have been reduced. The Russian studies conclude that grazing by snow crabs has led to a decrease in biomass of other benthic animals in areas where the crab has been numerous, primarily in the eastern areas of the Russian part of the Barents Sea. In the Norwegian part of the Barents Sea, the impact has so far been estimated to be low (Jørgensen 2017). The effects of the snow crab on benthic communities will be a central theme in the further work on the effects of the snow crab on the ecosystem.

The presence of king crab probably leads to an increased infection of a blood parasite in cod. The Institute of Marine Research has recently conducted a similar study that looks at whether snow crab leads to increased infection of this blood parasite in cod in the Barents Sea. This work shows that the snow crab acts as a host for the leeches that are carriers of the blood parasite, as there is a higher infection in cod that has been sampled in high density areas for snow crabs than outside (Nunkoo et al. Submitted).

The biomass of the snow crab is increasing in the Barents Sea and it is reasonable to assume that its role in this ecosystem will become more significant in the future. The Institute of Marine Research has

modelled the effect the snow crab can have on the ecosystem in the Barents Sea, and the results show that capelin, herring, polar cod, redfish and halibut benefit from the snow crab entering the ecosystem (Hansen et al., 2019). Snow crab can contribute to increased biomass of cod and other fish, by swirling up and utilizing biological material from the bottom that would not otherwise be used, in addition to serving as food for cod and other bottom-eating fish. It is emphasized that the uncertainty in such a modelling is significant. Fishing for snow crab takes place with traps, and the trap fishing itself has little impact on the ecosystem. There will also be little or no by-catch of other species when using traps.

Soft crabs

Growth and reproduction in the snow crab is complicated. The growth is a step-by-step process associated with several shell changes (they grow by changing the outer shell). The larger crabs normally change their shells in spring / early summer, while the smaller snow crabs change shells up to twice a year, once in the summer and once in the winter. The smallest crabs are not interesting for fishing and they do not go in the traps either. The snow crabs that can be caught with traps will, after the shell change, have a period of soft shell that lasts anywhere from 2 to 9 months. In this phase, they have lower meat density and are vulnerable to external stresses such as handling in fishing. When the snow crabs reach sexual maturity, both males and females undergo a final shell change and the growth stops, and they have reached maximum size. The males become larger than the females.

We know from Canada that this last shell change can occur at sizes ranging from 40 to 160 mm shell width for males and from 30 to 95 mm in females. They are then sexually mature and it is believed that it can take 8 to 10 years for a male crab to reach a catchable size. After completing the last shell change, they live a maximum of 7 to 8 years. Our investigations from the Barents Sea show that this last shell change in male crabs also here takes place from 40 mm up to 160 mm shell width. Shell age is registered using a subjective scale from 1 to 5 based on the appearance and quality of the shell. Right after the shell change, the crab will be very soft and loose in the body and out of shape if they are out of the water. Such crabs were observed on the snow crab cruise in the summer of 2019. The texture is similar to wet leather or skin. This condition is relatively short and within 72 hours the shell begins to harden. This vulnerable condition can last for up to 2 weeks, when the shell begins to harden enough for the crab to be mobile again. When the crab is in this phase, it will not go into traps, but they cannot escape the trawl. In the transition to shell age 2, they will have a very thin and fragile shell, and as the shell hardens, they will also achieve higher meat density. This process can take up to 9 months after the shell change. It is these crabs that are categorized as soft crabs and which it is important to protect during a period of closed fishing. When the crab reaches shell age 3 (approximately 9 months after shell change), it will have a hard and light shell without growth or scratches / damage. It is these crabs that have the highest degree of filling and the best economic value in fishing. Shell ages 4 and 5 are old crabs that begin to approach the end of their lifespan and are not of commercial interest. In these crabs, the meat content will also gradually be reduced.

Results from studies of shell age on male crabs caught with trawls on the snow crab cruise showed that 97% of all male crabs were categorized as shell age 1 or 2 (Figure 12). Shell age 2 dominated among those that were smaller than 70 mm shell width, but also among the larger crabs there were many who were categorized as soft crabs. This indicates that the shell change was underway when the cruise took place, and that also in the Barents Sea the shell change period begins in the spring and early summer. To protect the snow crab in the phase after the shell change, a stop can be introduced in the fishing. The crabs that are below the minimum size must also be protected and thrown out again, and it is known that handling soft crabs can cause injuries. Previous registrations from the July and August 2017 fishery have shown at times a high proportion of soft crab, and that the proportion of soft crab can vary from one area

to another in the catch field. Small variations in temperature can affect the start-up of the shell change period.

A period of 3-4 months with closed fishing in the summer will preserve the snow crab for a vulnerable period and the quality will increase throughout the autumn.

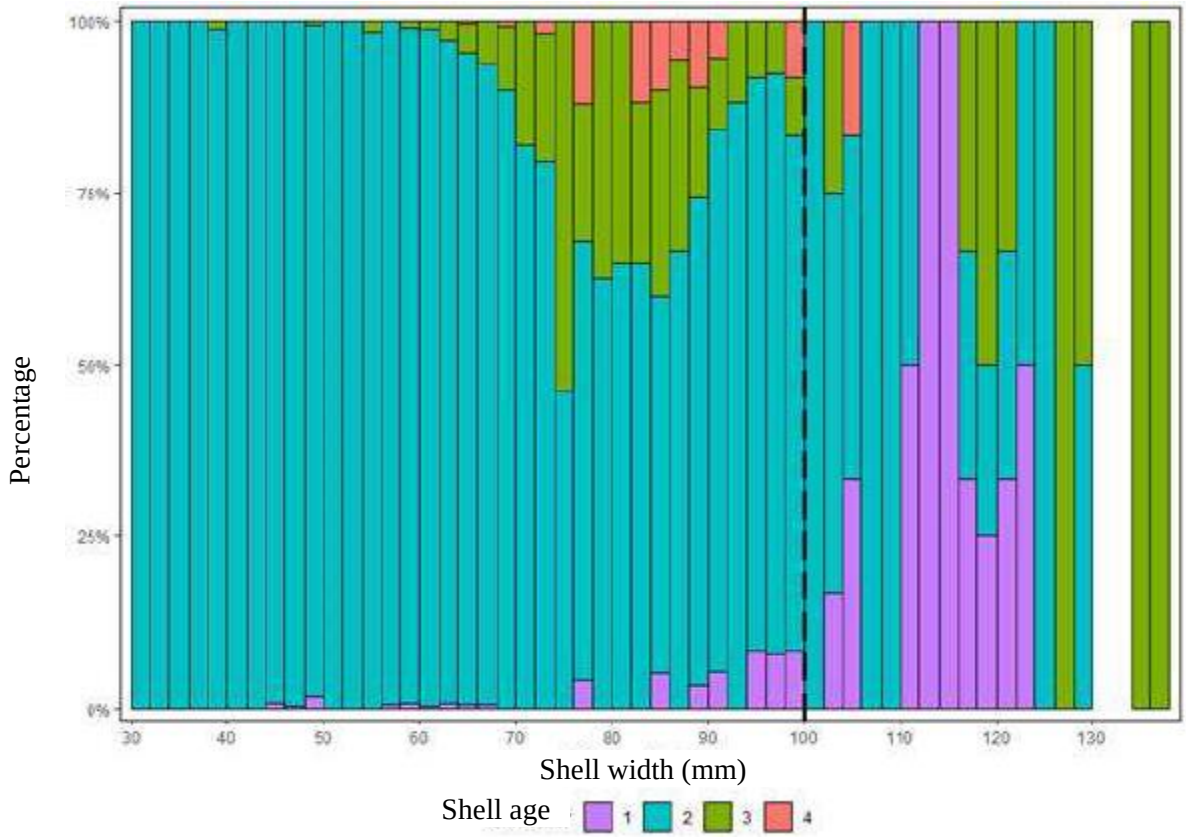


Figure 12. The figure shows the percentage distribution of shell age on male crabs caught on the snow crab cruise 2019. Of all the crabs assessed, around 97% are categorized as soft crabs (shell age 1 or 2).

Minimum size

The minimum size for catching snow crabs is linked to two conditions: 1) ensure the reproductive potential and 2) avoid overfishing. The reproductive potential is ensured by the fact that there are a sufficient number of sexually mature males left in the stock after fishing. Therefore, the minimum size is often set somewhat larger than the average sexually mature size (50% sexually mature). If the harvesting rate is low, the minimum size can be set low. In the event of a high degree of harvesting, the minimum size should be set correspondingly high to ensure that there is a sufficient number of sexually mature male crabs below the minimum size. In Canada and Alaska, the minimum size for catching crabs is 95 and 78 mm, respectively. These minimum goals are primarily set on the basis of the market criteria, and this seems to work well also in relation to natural increase. There are currently no signs of reduced egg counts in female crabs in these populations, which could indicate a shortage of sexually mature males. Even in areas where the harvesting of male crabs has been particularly high, only female crabs with a lot of eggs can be found.

The minimum size in both Norwegian and Russian fishing for snow crab in the Barents Sea is set at 100 mm shield width. This is justified by market requirements for a certain size of crab and has no biological reference. We still recommend maintaining this minimum size until further notice.

Knowledge acquisition - snow crab survey cruise on M / S Talbor

In the period 20 June to 5 July, the Institute of Marine Research carried out a new cruise where snow crab was the target species. The cruise took place mainly in the Fisheries Protection Zone near Svalbard with the help of a chartered fishing vessel. The aim of the cruise was to investigate the snow crab population within the area where the commercial fishing for snow crab takes place on the Norwegian shelf (Figure 2 and Figure 13).

On this voyage, a total of 136 trawl trawls were caught with agassiz trawl (king crab trawl). Trawling stations were planned in transects with a fixed distance within the area used in the fishery. It proved difficult to fish the shallow bank areas without destroying the trawl, so the deep areas and edges of the bank were given priority. We investigated depths from 160 to 380 m (average 270 m). In addition, 21 net hauls were taken to look for snow crab larvae. Snow crabs were caught at 117 stations and the catch varied between 1 and 500 crabs per trawl haul. A total of 11,200 snow crabs were caught, of which 8,300 were measured in length. The gender distribution in the catches was 53% females and 47% males. All crabs were sexed, and shell width was measured and shell age was recorded. Claw height and claw length for male crabs were measured, to assess whether the last shell change had been completed. On the females, abdomen width was measured as well as recorded egg stage and special stage. There are currently no results from the haul traits, as they must be processed in the laboratory.

The cruise provided new information about the distribution and good data on the demographic composition of the population. At most stations, recordings of bottom temperatures were also made (Figure 13).

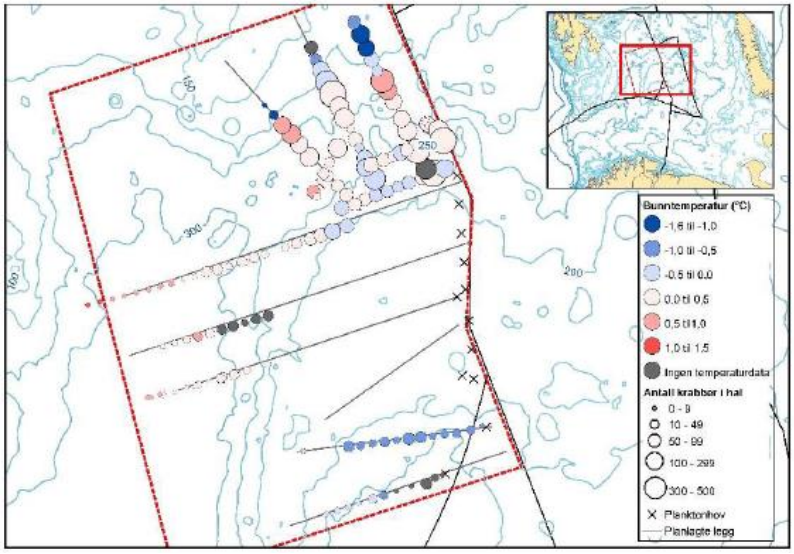


Figure 13. Map showing planned set and trawl stations with catch volume and temperature on the cruise completed in the summer of 2019.

It is uncertain whether the size distribution is representative of the population, but we can clearly see two peaks in the distribution in both females and males. This may indicate two numerous cohorts in the population (Figure 14).

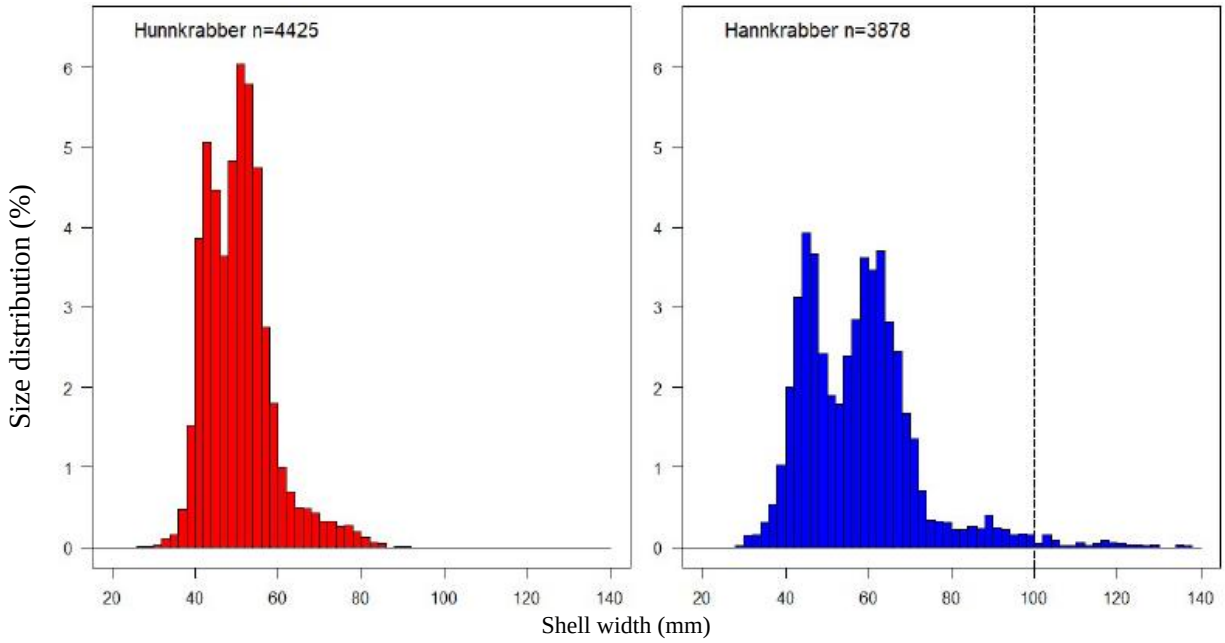


Figure 14. Size distribution (2mm) in female and male crabs length measured on the lobster trap cruise with M / S Talbor in the summer of 2019. Dotted vertical line indicates the minimum size for fishing of 100 mm shell width in males.

Origin

The snow crab was first found on Gåsbanken Southeast of the Barents Sea in 1996. There are two hypotheses for how the snow crab has spread to the Barents Sea; 1) immigration from the East, and 2) import via ballast water. Based on the genetic studies done on the crab in the Barents Sea, there is nothing to suggest that there has been an introduction via ballast water (Dahle et al., Manuscript). In that case, one would expect to see a certain genetic similarity between snow crabs in the Barents Sea and the other areas studied. In addition, one can expect a reduction in "allele richness", which is typical if the starting point for the explosive development was a relatively limited number of individuals. This is not observed in our data. The analysis shows more similarities between crabs from the Barents Sea and the Bering Strait and the East coast of Canada than with crabs from West Greenland. Therefore the hypothesis is that the crab has spread by migrating West from the Chukchi Sea, north of the Bering Strait and into the Barents Sea.

Fishing technology assessments for fishing for snow crab

The snow crab in the Barents Sea is mainly fished with conical traps with an entrance at the top. Norwegian fishing vessels can fish with up to 12,000 traps per vessel, and the traps must be smoked at least once every three weeks. The traps are most often placed in chains of 200 or 400 pieces and the distance between individual traps is typically 25 meters.

Ghost fishing

Traps that are lost have the potential to continue fishing (even after the bait is gone), so-called ghost fishing. If captured crabs are unable to escape, they will die after a while (Hébert et al., 2001). No investigations have been carried out into gear losses in the Barents Sea, and the extent is therefore unknown. However, 1,200 snow crab stones have been picked up on the Directorate of Fisheries' clean-up

cruise in 2019, which indicates that the problem is extensive. The reasons for loss of gear can be several, such as cutting of the surface guard (blower / buoys) from vessel propellers or ice, reduction from other adjacent tine chains, attachment to the bottom and gear conflicts with trawlers. Lost gear also leads to littering and can further lead to new losses as new use is put in the same area and hooks. In 2018, the Norwegian Directorate of Fisheries cleaned up 8600 snow crab bones (81 links) that had stood for 1.5 years (Langedal and Kalvenes 2018), where HI also participated to collect catch data (Humborstad et al., In. Prep.). All the links had a catch. Total catch was estimated at 15,000 individuals, but there was a great variation in the number of traps with catch per link and the number of crabs per traps between links. 97% of the catch in the traps was live. These results provide an important insight into the potential for ghost fishing for snow crab stones, even after they have been in the ocean for a long time. Similar studies from other areas show that self-weighing and hidden harvesting can be a challenge in snow crab fishing (Hébert et al., 2001).

The best solution to avoid ghost fishing would be to avoid the loss of gear in the first place and find effective methods for quick recovery in case of loss. In other fisheries, this has proved to be demanding, and in several cases you are dependent on your own clean-up voyages where you go to losing positions to retrieve the gear. Such cruises are currently carried out for both the net and king crab fisheries under the auspices of the Norwegian Directorate of Fisheries, but these cruises are very expensive. It is therefore important to prevent traps from being lost in the first place and for traps that are lost to stop fishing and release the catch. In 2019, a prototype buoy was tested to prevent the loss of rock chains due to drift ice that wears off the ilium, one of the main causes of snow crab rock loss. Work on further development of the buoy is ongoing.

To prevent gear that is still lost from continuing to fish for a long time after it was lost, solutions can be installed where escape holes are activated after a certain time in the sea. The use of degradable wire (rotten wire) to seal openings in the net line in the trap wall or hold hatches in place is a simple and effective method that is mandatory in several trap fisheries in North America and in the Norwegian fishery for lobster and crab (recreational fishing). Maximum allowable wire diameter varies between fisheries. In the Norwegian lobster fishery, which is a seasonal fishery with a duration of 2-3 months, the maximum allowable wire diameter is 3 mm. In the Canadian snow crab fishery, it is mandatory to use a rotten wire with a maximum diameter of 4 mm. In Canada, snow crab fishing is seasonal fishery with a duration of 2-4 months, while Norwegian fishing has a duration of up to 9 months. Apart from a shorter experiment with a duration of three months, the Institute of Marine Research has not made measurements of the lifespan of rot in the Norwegian snow crab fishery. Degradation rate measurements have been made for the same wire dimension used in Canadian fishing. These measurements were made on the coast of Finnmark and showed that the wire had broken down after about 6 months in the sea. Canadian experiments have shown a similar rate of decomposition even at temperatures below 0ºC (Winger et al. 2015). However, these measurements do not take into account gnaw wear on the wire from handling and crabs. Practical life will therefore be assumed to be shorter than 6 months. When using 4 mm cotton thread, it will consequently be necessary to change at least one thread during the fishing season in Norwegian fishing. Use of thinner thread is expected to require additional thread changes. Because a large number of traps per vessel are used in the snow crab fishery, this will be a labor-intensive process. At the same time, the potential time for ghost fishing in case of gear loss will be relatively long when using a 4mm wire. An alternative that is being worked on is a cassette solution with a panel of rotten wire. This allows for quick change, at the same time as thinner thread can be used, which in turn gives shorter ghost fishing time in case of loss of gear. The cassette solution must be further developed and tested in commercial fishing.

It is recommended to continue the work with technology development to prevent losses in the first place and to prevent unintentional mortality, poor animal welfare and hidden harvesting in the event of loss of gear.

Other research needs

There are currently no requirements for trap design, escape routes or the minimum mesh size in snow crab stones. All female crabs, undersized crabs and soft crabs must be released again, but no surveys have been made of survival or injury frequency during onboard sorting and subsequent re-release. It is desirable that sorting takes place as far as possible at the fishing depth by using masks or escape openings adapted to the minimum size for the crab. In 2019, a survey of selection in traps was carried out using escape openings of 100 and 115 mm. Both escape openings led to a large reduction in catches, also of crabs above the minimum size. A 100 mm escape opening was also not effective in sorting out undersized crabs and the work of selection should be continued. An alternative method is to use gaps and utilize the ratio between shell width that indicates the minimum size and shell height (Broadhurst et al., 2018). It is further recommended to prepare procedures for gentle re-release of undersized crabs so that they survive as much as possible.

Studies of catch efficiency show that traps with an entrance at the top are ineffective. In 2019, experiments were carried out with traps with a small mesh size. These traps led to significantly higher catch rates of oversized crab, but also undersized crab. Work that can lead to increased efficiency will be able to reduce the required number of traps and thus have positive effects on the environment and bait consumption, and is recommended to be carried out.

References

Broadhurst, M. K., Millar, R. B., & Hughes, B. 2018. Utility of multiple escape gaps in Australian Scylla serrata traps. Fisheries research, 204, 88-94.

Dahle, G., Sainte-Marie, B., Hardy, S.H., Farestveit, E., Agnalt, A.L. Snow crab in the Barents Sea – introduction by ballast water or invasion from the East? (manuscript)

Hébert, M., Miron, G., Moriyasu, M., Vienneau, R. and DeGrâce, P., 2001. Efficiency and ghost fishing of snow crab (Chionoecetes opilio) traps in the Gulf of St. Lawrence. Fisheries Research, 52(3), pp.143-153. https://doi.org/10.1016/S0165-7836(00)00259-9

Humborstad, O.B., Eliassen Krøger, L. Hjelset, A.M., Løkkeborg, S., Siikavuopio, S. and Wiech, M. (in prep). Catches in abandoned snow crab traps in the Barents Sea.

Hvingel, C. and M.C.S. Kingsley. 2006. A framework to model shrimp (Pandalus borealis) stock dynamics and quantify risk associated with alternative management options, using Bayesian methods. ICES J. Mar. Sci. 63:68–82.

Nunkoo, I, Hemmingsen, W., McKenzie, K., Karlsbakk, E., Arneberg, P. 2019. The Barents Sea snow crab (Chionoecetes opilio) invasion and Trypanosoma murmanense infections in cod (Gadus morhua). Submitted in Biological Invasions

Jørgensen, L.L. 2017. Vurdering av sårbare bunnhabitater i det nordlige Barentshavet; trålfangete bunndyr fra det årlige øko-toktet. Rapport fra Havforskningen 19-2017.

Langedal, G. og Kalvenes, O. 2018. Oppreinsking gjenstående snøkrabbeteiner. Rapport fra Fiskeridirektoratet.

Oug, E., Cochrane, S., Sundet, J.H., Norling, K. & Nilsson, H.C. 2011.Effects of the invasive red king crab (Paralithodes camtschaticus) on soft bottom fauna in the Varangerfjorden, northern Norway. Mar Biodiv. 41:467-479. DOI 10.1007/s12526-010-0068-6

Oug, E., J.H. Sundet, S.K.J. Cochrane. 2017. Structural and functional changes of soft-bottom ecosystems in northern fjords invaded by the red king crab (Paralithodes camtschaticus). Journal of Marine Systems, 2017. Doi: 10.1016/j.jmarsys.2017.07.005

Sundet, J.H., Tranang, C.A., Nilssen, E.M., Jenssen, M. (in prep). Stomach content of the snow crab (Chionoecetes opilio) from the Barents Sea.

Winger, P.D., Legge, G., Batten, C. and Bishop, G., 2015. Evaluating potential biodegradable twines for use in the snow crab fishery off Newfoundland and Labrador. Fisheries research, 161, pp.21-23. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.06.007

Havforskningsinstituttet

Snøkrabbe på norsk sokkel i Barentshavet

Bestandsvurdering og kvoterådgivning 2020

Bentiske ressurser og prosesser: Ann Merete Hjelset
Carsten Hvingel
Hanna Ellerine Helle Danielsen
Jan H. Sundet
Fangst: Odd-Børre Humborstad
Terje Jørgensen
Svein Løkkeborg

November 2019

Rådgivning Snøkrabbe

Havforskningsinstituttets råd for 2020

Fangstopsjoner: Maksimal fangst i 2020 bør ikke overstige 5500 tonn. Forvaltningsmålet for et bærekraftig langsiktig fiskeri kan nås med ulik risikotoleranse. Sannsynlighet for at fiskeridødeligheten overstiger F_{msy}, at biomassen blir lavere enn B_{msy} og at bestanden øker ved forskjellige fangstopsjoner er som følger:

Fangstopsjoner 2020 (tonn):	4500	5000	5500	6000
Sannsynlighet for fiskeridødelighet > F_{msy}	30 %	40 %	50 %	59 %
Sannsynlighet for bestand < B_{msy}	100 %	100 %	100 %	100 %
Sannsynlighet for at bestand øker	90 %	82 %	74 %	64 %

Fiskeridødeligeten bør sjeldent ha mer enn 50% sannsynlighet for å overstige F_{msy} (fiskeriuttak som gir MSY). Over tid bør bestanden ligge nær B_{msy} for å sikre maksimal produksjon og bidra til stabilitet i et langsiktig fiskeri.

Minstemål: Minimumsstørrelse på 100 mm skjoldbredde vil sikre fangst av høy verdi og beskytte bestandens reproduksjonspotensiale.

Stenging: Stengning for fiske i en periode fra 1. juli til 1. oktober bør opprettholdes for å beskytte snøkrabber i skallskifteperioden.

Spøkelsesfiske: Krav om bruk av råtnetråd (4 mm ubehandlet bomullstråd) i teinene for å hindre utilsiktet dødelighet, dårlig dyrevelferd og skjult beskatning.

Forvaltningsmål

Forvaltningsmålet for snøkrabbe på norsk kontinentalsokkel (ref. Nærings – og fiskeridepartementet) er *bærekraftig høsting som gir grunnlag for verdiskaping for samfunnet, basert på kunnskapen om hvordan artene påvirker hverandre i økosystemet*. Dette skal oppnås gjennom å balansere delmålene: 1) maksimering av fangstutbyttet på lang sikt, og 2) minimere risikoen for uønskede økosystemeffekter.

Område for kommersielt fiske

Størstedelen av det potensielle leveområdet for snøkrabbe på norsk sokkel (inkludert Fiskevernsonen ved Svalbard) har ikke krabbetettheter som er av interesse for kommersielt fiskeri. Et begrenset område sentralt i Barentshavet har høy tetthet av snøkrabbe, og bestandsrådgivningen for 2020 gjelder derfor kun for dette delområdet (Figur 2).

Status 2019, sammendrag

Bestandsstørrelse
Bestanden av snøkrabbe har økt betydelig siden 2010. Biomassen av snøkrabbe større enn 100 mm skallbredde estimeres til å ligge mellom 0,16-0,47 tonn/km^2 (95% konfidensintervall) hvilket tilsvarer mellom 50 til 95 % av B_{msy}. Det er stor usikkerhet knyttet til dette estimatet.

Fiskeridødelighet
Fiskeridødeligheten er estimert til å ligge mellom 0,21 og 0,63 (95% konfidensintervall), hvilket tilsvarer fra 0,4 til 1,7 ganger F_{msy}. Det er stor usikkerhet knyttet til dette estimatet.

Produksjon
Bestandens nettoproduksjon i 2019 (biomasse som er tilgjengelig for fiskeriet og/eller bestandsøking) er estimert til å være mellom 3 800 og 12 600 tonn (0,08-0,28 tonn/km^2 (95% konfidensintervall)). Det er stor usikkerhet knyttet til dette estimatet.

Begrensning i fiskesesong
Snøkrabben vokser ved å skifte skall, og i en tid etter skallskiftet er skallet svært mykt. I en periode på inntil 9 måneder vil også matinnholdet i krabben være lavt. En stenging av fisket i perioden med mye bløtkrabbe i bestanden vil redusere unødvendig dødelighet på grunn av fiskeriet, og en redusert verdi av fangsten. Fisket i 2019 var stengt i perioden 1. juli til 15. september.

Spredning
Snøkrabben har spredd seg nord- og vestover i Barentshavet og finnes i 2019 trolig i alle egnede leveområder på norsk sokkel, men det er foreløpig vanskelig å forutse hvilke områder som vil oppnå fangstbare tettheter av snøkrabbe; det er avhengig av faktorer som, dyp, temperatur og tilgjengelig mat.

Økosystemeffekter
Biomassen av snøkrabbe har etter hvert blitt stor i Barentshavet og det er derfor rimelig å anta at krabben vil ha effekt både som predator på bunndyr og som byttedyr for fisk. Vi har enkelte studier som indikerer at snøkrabben kan påvirke bunnfaunaen. Undersøkelser viser at snøkrabben også kan være bærer av ulike parasitter. Med dagens kunnskap er det lite som tilsier at fisket etter snøkrabben eller snøkrabben i seg selv vil ha negative effekter på andre fiskeressurser.

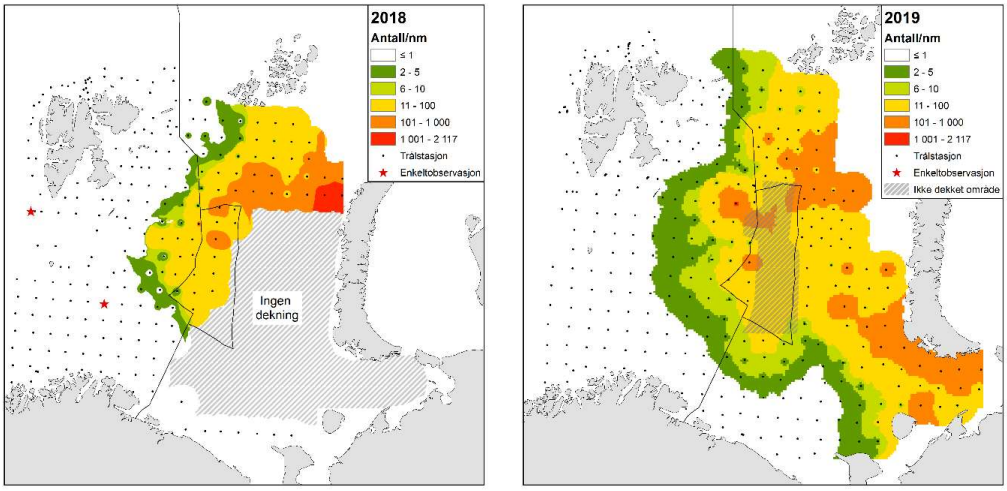
Framtidsperspektiver
Snøkrabben er ny i Barentshavsøkosystemet, og bestanden vil sannsynligvis fortsette å vokse. Den pågående oppvarmingen av havområdene i Arktis vil imidlertid kunne påvirke utbredelsen av og rekrutteringen til snøkrabbebestanden i våre farvann.

Opprinnelse
Snøkrabben ble første gang funnet på Gåsbanken sørøst i Barentshavet i 1996. Genetiske analyser viser mer slektskap mellom krabber fra Barentshavet og Beringstredet og østkysten av Canada enn med krabber fra Vest-Grønland. Hypotesen er derfor at krabben har spredt seg ved vandring vestover fra Tsjuktsjerhavet, nord for Beringstredet og inn i Barentshavet.

Bakgrunnen for rådgivningen

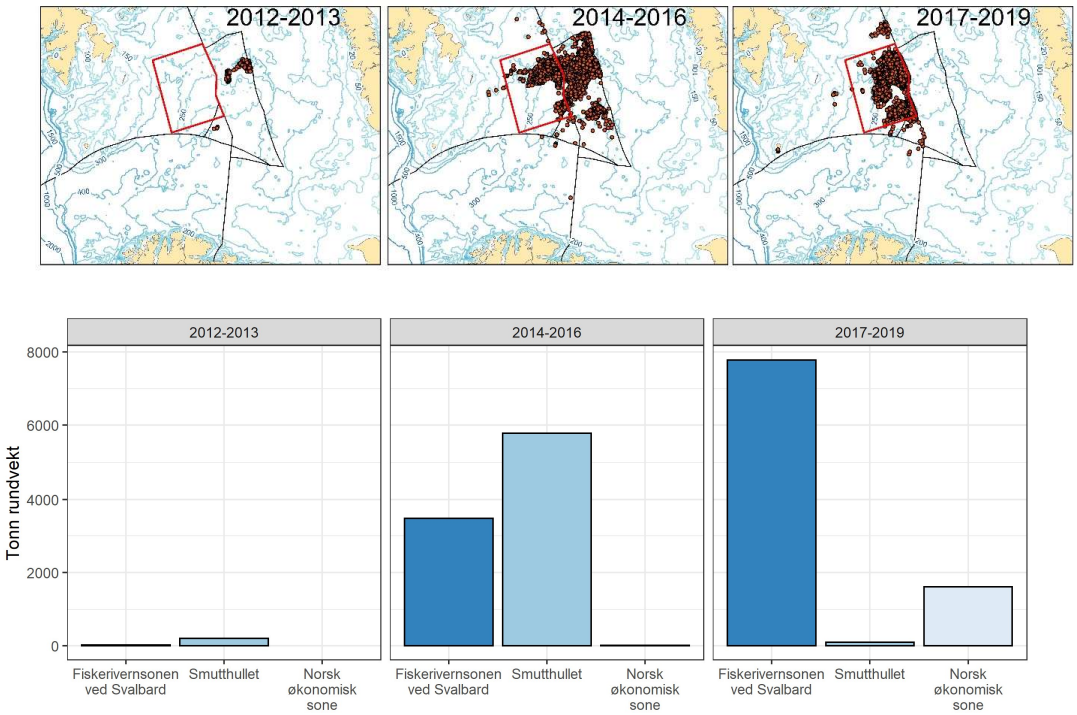
Størstedelen av snøkrabbebestanden finnes fortsatt på russisk sokkel i Barentshavet, med en synkende tetthet vestover innover norsk sokkel. Data fra økosystemtoktet i 2019 indikerer en noe økt utbredelse og tetthet av snøkrabbe på norsk sokkel. Dekningen av de sentrale områdene i Barentshavet var bedre i 2019 enn i 2018 og endringene vi ser skyldes sannsynligvis færre fangende individer. Det forventes at utbredelsen av snøkrabbe fortsetter vestover og nordover.

Det ble i år gjennomført et eget tokt i Fiskevernsonen ved Svalbard. Disse undersøkelsene sammen med enkeltfunn av snøkrabbe nordvest og sørvest av Spitsbergen bekrefter at store deler av det potensielle leveområdet for snøkrabben er i ferd med å bli kolonisert, men tettheten av krabbe i disse områdene er for lav til at de er av kommersiell interesse.



Figur 1. Utbredelse av snøkrabbe i Barentshavet for 2018 og 2019 basert på de årlige norsk-russiske økosystemtoktene.

Fangst av snøkrabbe på norsk sokkel foregår fortsatt i et konsentrert område sentralt i Barentshavet. Posisjoner fra norske snøkrabbefartøy i perioden 2012 til november 2019 viser hvilket område fisket har foregått i de siste 8 årene (Figur 2). Fiskefeltet har ikke endret seg vesentlig de tre siste årene etter at fiskeriet flyttet ut av Smutthullet. Beregninger av fangstbar mengde snøkrabbe for 2020 gjøres innenfor det samme avgrensede geografiske området som tidligere år.



Figur 2. Fangstposisjoner fra fiskeriet fordelt på tre perioder, 2012 – 2013, 2014 – 2016, 2017 – 2019 (øvre panel). Landinger i tonn fordelt på de tre mest brukte områdene i Barentshavet for de samme tre periodene (nedre panel). Data er hentet fra elektroniske fangstdagbøker, Fiskeridirektoratet. Fangstfeltet for snøkrabbe er definert innenfor firkanten avgrenset av røde linjer øvre panel.

Forvaltningsmål for snøkrabben på norsk kontinental sokkel

Nærings – og fiskeridepartementet har bestemt at målsetningen med forvaltningen av snøkrabben er at det skal være en bærekraftig høsting som gir grunnlag for verdiskaping for samfunnet, basert på kunnskapen om hvordan artene påvirker hverandre i økosystemet. Dette skal oppnås gjennom å balansere delmålene: 1) maksimering av fangstutbyttet på lang sikt, og 2) minimere risikoen for uønskede økosystemeffekter.

Delmål 1. Et høyest mulig langsiktig fangstutbytte oppnås ved å optimalisere fangstmengde og fangstrater. Kompromisset mellom høyest mulig fangstmengde og fangstrate er ved en beskatning hvor fiskeridødeligheten er litt under F_{msy}. Over tid samsvarer dette med en biomasse (fangstbar bestand) som er nær B_{msy}. En slik stående bestand vil sikre en høy produksjon og samtidig fungere som buffer for variabel rekruttering og fremme stabilitet i fisket.

Snøkrabbebestanden er relativt godt beskyttet mot en rekrutteringssvikt forårsaket av fisket (nedfisking av gytebestanden) så lenge størrelsen på de aller fleste kjønnsmodne hunnkrabbene er lavere enn minstemålet på hannkrabben, og ved at bløtkrabber og eggbærende hunnkrabber settes ut igjen levende. Et fiske kun på store hanner vil normalt sikre en tilstrekkelig produksjon av befruktede egg. Et relativt høyt minstemål gjør det mulig å beskatte krabben relativ hardt. Det vil si at en tar ut det meste av det som rekrutteres til den fangstbare bestanden hvert år. Risikoen med en slik strategi vil være et mer uforutsigbart fiske som vil variere med de store svingningene i rekrutteringen. En slik strategi er neppe ønskelig for sjømatindustrien selv om høy beskatning kan forsvares ut fra biologiske

betraktninger. Et ønske om stabilitet og langsiktighet i fiskeriet krever derfor at den stående bestanden av snøkrabbe over minstemålet er såpass stor at den kan være en buffer mot variasjonene i rekrutteringen. Det er vanlig at rekrutteringen til forskjellige fangstbare fiskeressurser variere mye mellom perioder eller år. Dette har vi ikke gode data på for snøkrabbebestanden i Barentshavet.

Referanser for måloppnåelse, delmål 1:
Basert på betraktningene ovenfor, er de kvalitative forvaltningsmål omformulert til følgende målbare referanser som danner basis for rådgivningen:

- *F_{msy}*: Fiskeridødeligheten som gir maksimalt langtidsutbytte bør maksimalt ha 50% sannsynlighet for å gå over F_{msy}, normalt bør denne sannsynligheten være mindre enn 35%.
- *B_{msy}*: Bestanden bør være på et nivå nær B_{msy} for å sikre maksimal produksjon av fangstbar snøkrabbe og bidra til stabilitet i fiskeriet (B_{msy}: Den bestandsstørrelsen som gir MSY).
- *Minstemål*: Den størrelsen på snøkrabben som sikrer at bestandens reproduktive potensial ikke begrenses, at bestanden ikke fiskes ned, men gir et optimalt økonomisk utbytte.
- *Fangstsesong*: Periode av året som maksimerer den økonomiske verdien per fanget hannkrabbe og beskytter den i skallskifte-perioden.

Delmål 2. Vi har lite kunnskap om snøkrabbens effekter på økosystemet. Modelleringer indikerer liten effekt på andre kommersielle fiskeressurser, men den ser ut til å kunne påvirke bunnfaunaen. En reduksjon i mengde snøkrabbe er det derfor det eneste tiltaket for å minimere påvirkningen på bunnfaunaen. HI og andre jobber med å øke kunnskapsnivået om eventuelle økosystemeffekter.

Bestandstaksering

Fiskeri
Den første kommersielle fangsten av snøkrabbe ble landet i 2012. Fram til og med 2016 foregikk mye av fangsten på russisk sokkel i Smutthullet, men fra 1. januar 2017 ble russisk sokkel av Smutthullet stengt for andre fartøyer enn russiske, og siden da har det norske fisket foregått hovedsakelig i Fiskevernsonen ved Svalbard, men også i noe grad i norsk økonomisk sone og i norsk del av Smutthullet (Figur 2). I 2017 ble det innført fangstbegrensninger (innføring av kvote og område reguleringer) i det norske fisket (Tabell 1).

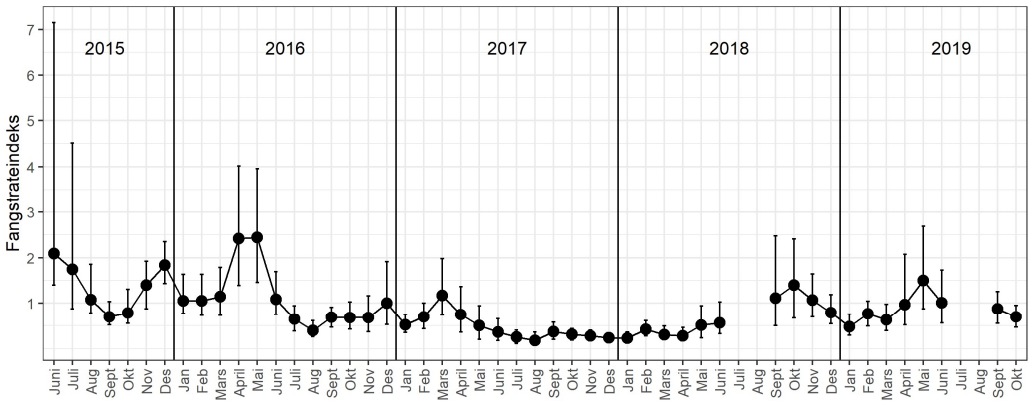
Tabell 1. Anbefalte fangstopsjoner for norsk kvote, fastsatte kvoter og fangster av snøkrabbe (i tonn) i Barentshavet i perioden 2012 til 2020 fordelt på nasjoner.

	Anbefalte	*Fastsatte kvoter (tonn)*		Landet (tonn)			Totalt landet
År	fangstoppsjoner	*Norsk*	*Russisk*	Norge	Russland	EU-land	(tonn)
2012		-	-	2	0	0	2
2013		-	-	189	62	0	251
2014		-	-	1 800	4 104	2 300	8 204
2015		-	*1 100*	3 482	8 895	5 763	18 140
2016		-	*1 600*	5 290	7 520	3 690	16 500
2017	3 600 – 4 500	*4 000*	*7 840*	3 153	7 780	2	10 847
2018	4 000 – 5 500	*4 000*	*9 840*	2 804	9 728	-	12 532
*2019	3 500 – 5 000	*4 000*	*9 840*	*3 775	9 840	-	*13 615
2020	< 5 500						

*Grunnlagsdata per 19. november 2019

Fangstrate

Per 2019 har 62 norske båter dispensasjon til å fiske snøkrabbe, men det er bare 11 fartøy som har vært i aktivitet i år. Fiskerne fører elektroniske fangstdagbøker, og fra og med mai 2015 ble de også pålagt å rapportere innsats (antall teiner per lenke). Data fra fangstdagbøkene viser at det i gjennomsnitt fiskes med 200 teiner per lenke, men det er også registrert opp mot 2000 teiner per lenke. På bakgrunn av opplysninger i fangstdagbøkene er det beregnet en fangstrateindeks som viser den relative endringen i fangst i perioden 2015 – 2019 (Figur 3). Fangstrateindeksen vises som en median av antall kilo fanget snøkrabbe per teine for hver måned og år i forhold til en gjennomsnittlig kilos-fangst av snøkrabbe per teine for hele datasettet. Indeksen varierer fra under 0,5 til over 2,5. Etter at adgangen til Smutthullet ble stengt (januar 2017) gikk den relative fangstrateindeksen gradvis ned og ble værende på et lavere nivå til våren 2018. Etter at fisket var stengt sommeren 2018, fikk vi en økning i fangstrateindeksen og en ny topp i mai 2019. En lav fangstrateindeks i september og oktober kan sannsynligvis forklares med at kvoten ble fisket opp kort tid etter at fisket startet opp igjen i september 2019.



Figur 3. Fangstrateindeks beregnet fra rapportert fangst og innsatts (antall teiner) i elektroniske fangstdagbøker i perioden juni 2015 til oktober 2019. Indeksen er median fangst per teine skalert i forhold til en gjennomsnittlig fangstrate for hele perioden. Datagrunnlaget er hentet fra Elektroniske fangstdagbøker, Fiskeridirektoratet.

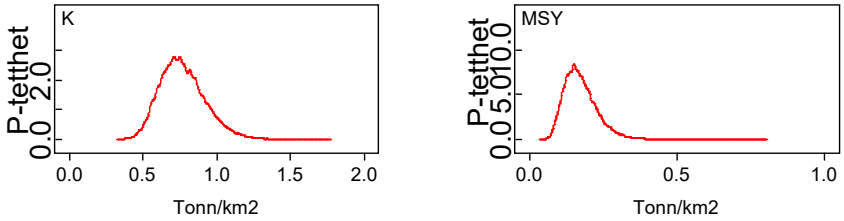
Datagrunnlaget

Bestandstakseringen er basert på data fra de årlige norsk-russiske økosystemtoktene, fangstdata fra fisket (Tabell 1) og eksisterende kunnskap i fra bestandene ved Canadas østkyst og det østre Beringhavet. I tillegg ble det i år tatt i bruk nye analyser av Barentshavtorskens konsum av snøkrabbe som et tilleggsmål for bestandsutviklingen og fangstrate fra elektroniske fangstdagbøker (Figur 4).

Figur 4. Biomasse-indeks basert på data fra det norsk-russiske økosystemtoktet i Barentshavet, analyser av mengde snøkrabbe funnet i torskemager og fangstrate (CPUE) fra elektroniske fangstdagbøker.

Beregningsmetodikk

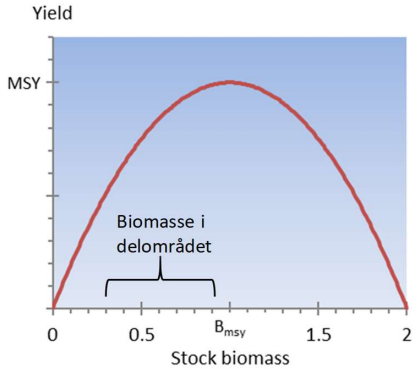
Data fra økosystemtoktet og fiskeriet kalibreres i en matematisk modell som brukes til å beskrive bestandsutviklingen for hele Barentshavet. Modellen antar en logistisk populasjonsvekst og er en såkalt Bayesiansk modell som i tillegg til bestands- og landingsdata, kan bruke annen relevant informasjon (Hvingel and Kingsley 2006). Disse legges inn som en sannsynlighetsfordeling for de aktuelle variabler (såkalte «priors») som for eksempel bærekapasitet (K) og maksimalt utbytte (MSY) (Figur 5). Jo mindre data vi har desto mer vil disse prior'ene drive modellen.



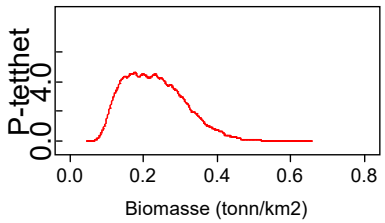
Figur 5. Inndata til modell: Priors angitt med sannsynlighetstetthet (P-tetthet) for bærekapasitet (K) og maksimalt utbytte (MSY), basert på estimater for snøkrabbebestanden i Canada.

Bestandsutvikling, fiskeridødelighet og produksjon

Det er ikke mulig å lage et uavhengig estimat av biomassen i det området som er definert som fangstbart område på norsk sokkel. Snøkrabben er ny i området og bestanden er i vekst, samtidig som den har blitt relativt hardt beskattet i perioden 2015-2017: bestanden må altså være langt fra bærekapasiteten (K), og sannsynligvis et godt stykke under B_{msy}. Derfor har vi valgt å gi denne parameteren en relativ bred uniform sannsynlighetsfordeling (0,3B_{msy} og 0,9B_{msy}) (Figur 6). Sammenholdt med estimatet av B_{msy} betyr dette at biomassen av snøkrabbe større enn 100 mm skallbredde estimeres til å være mellom 0,1-0,41 tonn/km^2 (95% konfidensintervall) (Figur 7). Det er likevel stor usikkerhet knyttet til dette estimatet.

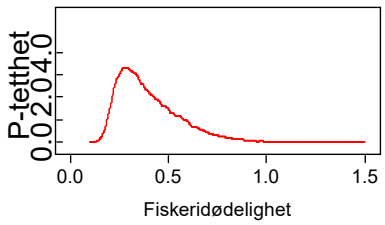


Figur 6 Estimert intervall for biomasse av fangstbar snøkrabbe i norsk sone (se Figur 2) relativ til B_{msy} (den biomassen av snøkrabbe som tillater et maksimalt utbytte).



Figur 7. Estimert sannsynlighetstetthet (P-tetthet) for fangstbar biomasse pr km^2 i delområdet (se Figur 2).

Fiskeridødeligheten i delområdet (Figur 2) i 2018 er relatert til registrerte landinger på 2804 tonn og er estimert til å ligge mellom 0,19 til 0,75 (95% konfidensintervall) (Figur 8), hvilket tilsvarer mellom 0,25 og 1,40 ganger F_{msy}. Det er stor usikkerhet knyttet til dette estimatet.



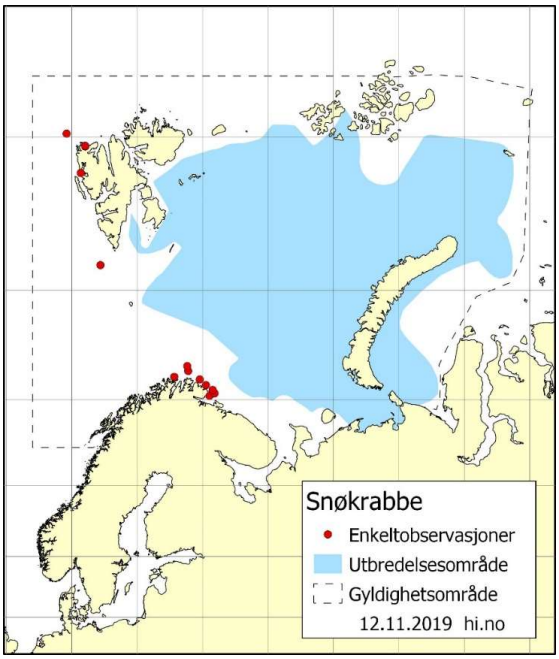
Figur 8. Estimert sannsynlighetstetthet for fiskeridødelighet i delområdet (se Figur 2).

Estimater av MSY og K for hele bestanden (Figur 5) antas å gjelde også for delområdet; det fangstbare arealet i norsk forvaltningsområde (Figur 2). Det totale arealet er beregnet til cirka 50.000 km^2 og det meste kan antas å være egnet snøkrabbehabitat (dybde mellom 100-500 m; bunntemperatur -1 til 4 °C). Totalestimater for MSY og K er deretter skalert til en beregnet habitatstørrelse på 45.000 km^2.

Framskriving

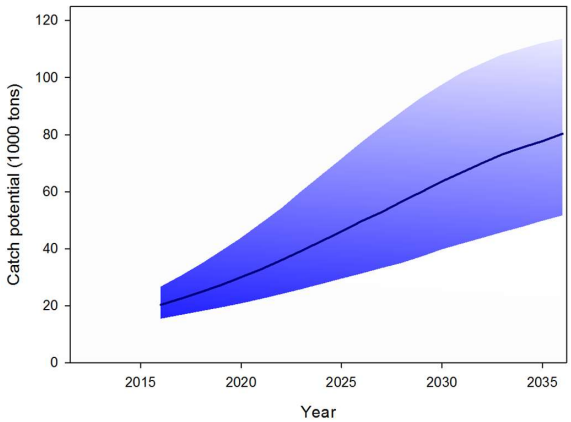
Spredningen av snøkrabbe vestover og nordover i Barentshavet forventes å fortsette. Det er gjort en rekke enkeltfunn av snøkrabber nordvest, vest og sørvest av Svalbard de siste årene. De siste enkeltregistreringene av snøkrabbe er gjort inne i Kongsfjorden på vestkysten av Spitsbergen. Det vi

har av informasjon fra det siste året sammen med økosystemtoktdataene og data fra egne snøkrabbetokt, viser at snøkrabben nå er utbredt i store deler av det potensielle leveområdet (begrenset av sokkelens utbredelse) (Figur 9). Endringer i bunntemperaturen kan ha effekt på den videre utbredelse, da snøkrabben foretrekker kalde temperaturer.



Figur 9. Nåværende utbredelse av snøkrabbe i Barentshavet basert på kunnskap fra det siste året. Det begynner også å bli betydelig mengde med snøkrabbe i Karahavet.

Biomassen av snøkrabbe i delområdet (Figur 2, fangstbart område) forventes å øke i de kommende årene gitt et balansert fiskeritrykk både i og utenfor delområdet. Det er i dag ikke mulig å lage langtidsprognoser for delområdet. En generell framskrivning av forventet fangstutvikling i hele Barentshavet, gitt et bærekraftig fiske, indikerer en jevn økning i takt med at krabben sprer seg lengre inn i norsk forvaltningssone og tettheten øker (Figur 10).



Figur 10. Estimert median fangstpotensiale for hele Barentshavet gitt et fiskeri etter snøkrabbe nær F_{msy} med 95 % konfidensintervall (blått område).

Effekter av snøkrabben på økosystemet
Med dagens kunnskap er det lite som tilsier at snøkrabben vil ha negative effekter på andre fiskeressurser, men russiske undersøkelser indikerer at krabben har effekter på bunnøkosystemet i Barentshavet. Biomassen av snøkrabbe er imidlertid stor og man kan anta at arten spiller en betydelig rolle i økosystemet, både som predator på andre bunndyr og som byttedyr både i de pelagiske og de bunnlevende stadiene. Mageanalyser viser at snøkrabben spiser et variert utvalg organismer hvor muslinger og børstemark ser ut til å dominere. Forskning på dette området pågår og publisering av resultatene forventes i 2020 (Sundet m fl.).

Vi vet at kongekrabben har effekter på økosystemet (Oug et al. 2011, 2017). I bunndyrsamfunn hvor voksne individer beiter, har en sett endringer både i total biomasse og artssammensetning. I områder med omfattende beiting er det funnet et skifte fra (større) langsomt voksende flerbørstemark til (mindre) mer rasktvoksende arter. Både artsrikdommen og biomassen av byttedyrsamfunnet er redusert. De russiske undersøkelsene konkluderer med at beiting fra snøkrabbe har ført til en nedgang i biomasse av andre bunndyr i områder hvor krabben har vært tallrik, i først rekke i de østlige områdene i russisk del av Barentshavet. I den norske delen av Barentshavet er påvirkningen så langt estimert til å være lav (Jørgensen 2017). Snøkrabbens effekter på bunndyrsamfunn vil være et sentralt tema i det videre arbeidet med effekter av snøkrabben på økosystemet.

Tilstedeværelse av kongekrabbe fører sannsynligvis til en økt smitte av en blodparasitt til torsk. Havforskningsinstituttet har nylig gjennomført en tilsvarende studie som ser på om snøkrabbe fører til økt smitte av denne blodparasitten til torsk i Barentshavet. Dette arbeidet viser at snøkrabben fungerer som en vert for de iglene som er bærer av blodparasitten, da det er høyere infeksjon i torsk som det er tatt prøver av i høytetthetsområder for snøkrabbe enn utenfor (Nunkoo et al. submittet).

Biomassen av snøkrabben er økende i Barentshavet og det er rimelig å anta at dens rolle i dette økosystemet vil bli mer betydningsfull i tiden som kommer. Havforskningsinstituttet har modellert effekten snøkrabben kan ha på økosystemet i Barentshavet, og resultatet viser at lodde, sild, polartorsk, uer og blåkveite drar fordeler av at snøkrabben har kommet inn i økosystemet (Hansen m. fl., 2019). Snøkrabbe kan bidra til økt biomasse av torsk og annen fisk, ved at den virvler opp og utnytter biologiske materiale fra bunnen som ellers ikke ville bli tatt i bruk, i tillegg til at den vil være mat for torsk og annen bunnspisende fisk. Det understrekes at usikkerheten i en slik modelleringen er betydelig

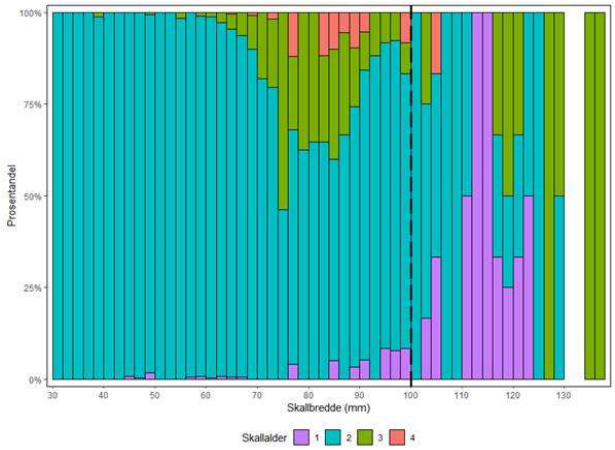
Fisket etter snøkrabbe foregår med teiner, og selve teinefisket har liten påvirkning på økosystemet. Det vil også være lite eller ingen bifangst av andre arter ved bruk av teiner.

Bløtkrabber
Vekst og reproduksjon hos snøkrabben er komplisert. Veksten er en stegvis prosess assosiert med flere skallskifter (de vokser ved å skifte det ytre skallet). De større krabbene skifter normal skallet på våren/forsommeren, mens de mindre snøkrabbene skifter skall opptil to ganger i året, en gang på sommeren og en gang på vinteren. De minste krabbene er ikke interessant for fisket og de går heller ikke i teinene. De snøkrabbene som er fangstbare med teiner, vil etter skallskiftet ha en periode med bløtt skall som vedvarer alt fra 2 til 9 måneder. I denne fasen har de lavere kjøttfylde og er sårbare for ytre påkjenninger som håndtering i fisket. Når snøkrabbene blir kjønnsmodne, gjennomgår både hanner og hunner et siste skallskifte og veksten stopper opp, og de har nådd maksimal størrelse. Hannene blir større enn hunnene.

Vi vet fra Canada at dette siste skallskiftet kan skje ved størrelser som varierer fra 40 til 160 mm skallbredde for hanner og fra 30 til 95 mm hos hunner. De er da kjønnsmodne og det antas at det kan ta 8 til 10 år for en hannkrabbe å nå fangstbar størrelse. Etter at de har gjennomført det siste skallskiftet lever de maksimalt 7 til 8 år. Våre undersøkelser fra Barentshavet viser at dette siste skallskiftet hos hannkrabber også her skjer fra 40 mm opp til 160 mm skallbredde. Skallalder blir registrert ved bruk av en subjektiv skala fra 1 til 5 ut fra utseende og kvalitet på skallet. Rett etter skallskiftet vil krabben være svært myk og slapp i kroppen og ute av fasong dersom de er ute av vannet. Slike krabber ble observert på snøkrabbetoktet sommeren 2019. Teksturen ligner på vått skinn eller hud. Denne tilstanden er relativt kort og innen 72 timer begynner skallet å herdes. Denne sårbare tilstanden kan vare i opptil 2 uker, da begynner skallet å bli nok herdet til at krabben er mobil igjen. Når krabben er i denne fasen vil den ikke gå i teiner, men de kan ikke unnslippe trålen. I overgangen til skallalder 2, vil de ha et veldig tynt og skjørt skall, og etter hvert som skallet herdes, vil de også oppnå høyere kjøttfylde. Denne prosessen kan ta inntil 9 måneder etter skallskiftet. Det er disse krabbene som kategoriseres som bløtkrabbe og som det er viktig å beskytte gjennom en periode med stengt fiskeri. Når krabben oppnår skallalder 3 (omtrent 9 måneder etter skallskifte), vil den ha et hardt og lyst skall uten påvekst eller riper/skader. Det er disse krabbene som har høyest fyllingsgrad og best økonomisk verdi i fisket. Skallalder 4 og 5 er gamle krabber som begynner å nærme seg slutten av levetiden og er ikke av kommersiell interesse. I disse krabbene vil også kjøttfylden etter hvert reduseres.

Resultater fra undersøkelser av skallalder på hannkrabber fanget med trål på snøkrabbetoktet, viste at 97% av alle hannkrabber ble kategorisert som skallalder 1 eller 2 (Figur 12). Skallalder 2 dominerte blant de som var mindre enn 70 mm skallbredde, men også blant de større krabbene var det mange som ble kategorisert som bløtkrabbe. Dette tyder på at skallskiftet var i gang da toktet gikk, og at også i Barentshavet begynner skallskifteperioden på våren og forsommeren. For å beskytte snøkrabben i fasen etter skallskiftet, kan det innføres en stopp i fisket. De krabbene som er under minstemålet må også beskyttes og kastes ut igjen, og det er kjent at håndtering av bløte krabber kan medføre skader. Tidligere registreringer fra fisket juli og august 2017 har vist til tider høy innblanding av bløtkrabbe, og at bløtkrabbeandelen kan variere fra et område til et annet på fangstfeltet. Små variasjoner i temperatur, kan påvirke oppstarten på skallskifteperioden.

En periode på 3-4 måneder med stengt fiskeri på sommeren, vil bevare snøkrabben i en sårbar periode og kvaliteten vil øke utover høsten.



Figur 12. Figuren viser prosentvis fordeling av skallalder på hannkrabber fanget på snøkrabbetoktet 2019. Av alle de vurderte krabbene er rundt 97% kategorisert som bløtkrabbe (skallalder 1 eller2).

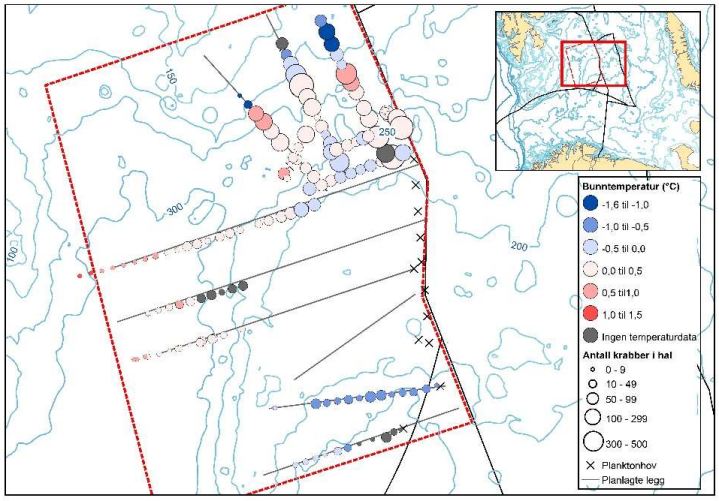
Minstemål
Minstemål for fangst av snøkrabbe er knyttet til to forhold: 1) sikre reproduksjonspotensialet og 2) unngå et overfiske. Reproduksjonspotensialet sikres ved at det er tilstrekkelig mange kjønnsmodne hanner igjen i bestanden etter fisket. Derfor settes gjerne minstemålet noe større enn det som er den gjennomsnittlige kjønnsmodningsstørrelsen (50 % kjønnsmodne). Dersom beskatningsgraden er liten, kan minstemålet settes lavt. Ved høy beskatningsgrad bør minstemålet settes tilsvarende høyt for å sikre at det finnes et tilstrekkelig antall kjønnsmodne hannkrabber under minstemålet. I Canada og Alaska er minstemålet for fangst av krabbe henholdsvis 95 og 78 mm. Disse minstemålene er primært satt ut fra markedskriterier, og dette ser ut til å fungere godt også i forhold til rekruttering. Det er foreløpig ikke noen tegn til redusert eggmengde hos hunnkrabber i disse bestandene, noe som kunne indikere en mangel på kjønnsmodne hanner. Til og med i områder hvor beskatningen på hannkrabber har vært særdeles høy, finner man bare hunnkrabber med mye egg.

Minstemålet i både det norske og det russiske fisket etter snøkrabbe i Barentshavet er satt til 100 mm skjoldbredde. Dette er begrunnet i markedskrav om en viss størrelse på krabben og har ingen biologisk referanse. Vi anbefaler likevel å opprettholde dette minstemålet inntil videre.

Kunnskapsinnhenting - snøkrabbetoktet med M/S Talbor
I perioden 20. juni til 5. juli, gjennomførte Havforskningsinstituttet et nytt tokt hvor snøkrabbe var målart. Toktet gikk hovedsakelig i Fiskevernsonen ved Svalbard ved hjelp av et innleid fiskefartøy.
Målsetningen med toktet var å undersøke snøkrabbebestanden innenfor det området hvor det kommersielle fisket etter snøkrabbe foregår på norsk sokkel (Figur 2 og Figur 13).

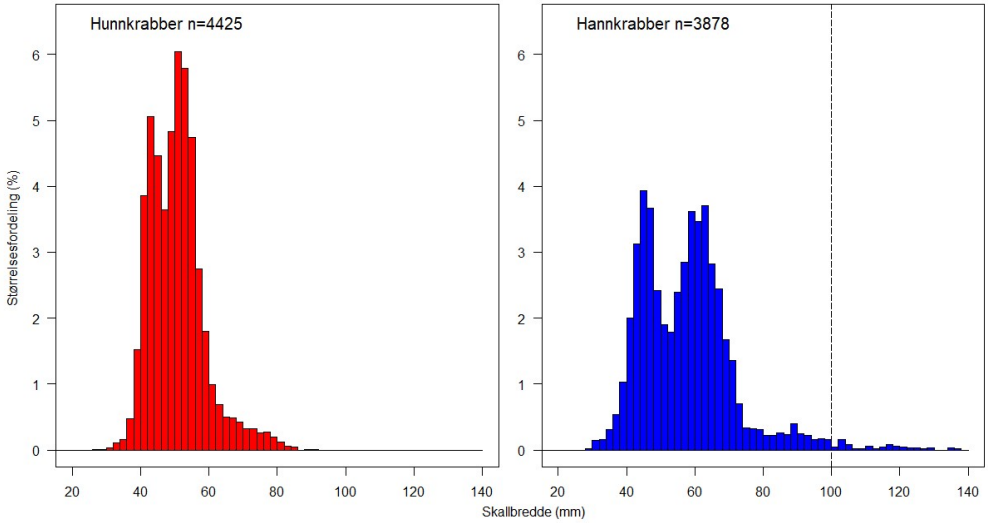
På dette toktet ble det til sammen tatt 136 tråltrekk med agassiztrål (kongekrabbetrål). Trålstasjoner ble planlagt i transekter med fast avstand innenfor det området som er brukt i fiskeriet. Det viste seg å være vanskelig å avfiske de grunne bankområdene uten å ødelegge trålen, så de dype områdene og kantene av banken ble prioritert. Vi undersøkt dyp i fra 160 til 380 m (gjennomsnittlig 270 m). Det ble i tillegg tatt 21 håvtrekk for å se etter snøkrabbelarver. Det ble fangst av snøkrabbe på 117 stasjoner og fangsten varierte mellom 1 og 500 krabber per tråltrekk. Det ble totalt fanget 11 200 snøkrabber hvorav 8 300 ble lengdemålt. Kjønnsfordelingen i fangstene var 53% hunner og 47% hanner. Alle krabber ble kjønnsbestemt, og det ble målt skallbredde og registrert skallalder. Klo-høyde og klo-lengde for hannkrabber ble målt, for å vurdere om siste skallskifte var gjennomført. På hunnene ble det målt abdomen-vidde samt registrert eggstadium og spesialstadium. Det foreligger foreløpig ingen resultater fra håvtrekkene, da de må opparbeides i laboratorium.

Toktet ga ny informasjon om utbredelse og gode data på den demografiske sammensetningen i bestanden. På de fleste stasjonene ble det også gjort registreringer av bunntemperaturer (Figur 13).



Figur 13. Kart som viser planlagte legg og trålstasjoner med fangstmengde og temperatur på toktet gjennomført sommeren 2019.

Det er usikkert hvorvidt størrelsesfordelingen er representativ for bestanden, men vi kan helt tydelig se to topper i fordelingen både hos hunner og hanner. Dette kan indikere to tallrike kohorter i bestanden (Figur 14).



Figur 14. Størrelsesfordeling (2mm) hos hunn- og hannsnøkrabber lengdemålt på teinetoktet med M/S Talbor sommeren 2019. Stiplet vertikal linje angir minstemålet for fiske på 100 mm skallbredde hos hanner.

Opprinnelse

Snøkrabben ble første gang funnet på Gåsbanken sørøst i Barentshavet i 1996. Det er to hypoteser for hvordan snøkrabben har spredd seg til Barentshavet; 1) innvandring fra øst, og 2) innførsel via ballastvann. Basert på de genetiske studiene som er gjort på krabben i Barentshavet er det ingenting som tyder på at det har skjedd en innførsel via ballastvann (Dahle m. fl., manuskript). I så fall ville en

forvente å se en viss genetisk likhet mellom snøkrabbe i Barentshavet og de andre undersøkte områdene. I tillegg kan en forvente en reduksjon i «allele richness», noe som er typisk dersom utgangspunktet for den eksplosjonsartede utviklingen var ett relativt begrenset antall individ. Dette er ikke observert i våre data. Analysene viser mer slektskap mellom krabber fra Barentshavet og Beringstredet og østkysten av Canada enn med krabber fra Vest-Grønland. Hypotesen er derfor at krabben har spredt seg ved vandring vestover fra Tsjuktsjerhavet, nord for Beringstredet og inn i Barentshavet.

Fiskeriteknologiske vurderinger for fisket etter snøkrabbe

Snøkrabben i Barentshavet fiskes i all hovedsak med koniske teiner med inngang på toppen. Norske fiskefartøy kan fiske med inntil 12000 teiner per fartøy, og teinene skal røktes minst en gang hver tredje uke. Teinene blir oftest satt i lenker på 200 eller 400 stykker og avstanden mellom enkeltteiner er typisk 25 meter.

Spøkelsesfiske

Teiner som tapes har potensiale til å fortsette å fiske (også etter at agnet er borte), såkalt spøkelsesfiske. Dersom fangede krabber ikke klarer å rømme, vil de etter en stund dø (Hébert m.fl., 2001). Det er ikke gjennomført undersøkelser av redskapstap i Barentshavet, og omfanget er derfor ukjent. Det er imidlertid hentet opp 1200 snøkrabbeteiner på Fiskeridirektoratets opprydningstokt i 2019, noe som indikerer at problemet er omfattende. Årsakene til redskapstap kan være flere, for eksempel kutting av overflatevak (blåser/bøyer) fra fartøypropeller eller is, nedsetting fra andre tilstøtende teinelenker, fasthekting på bunn og redskapskonflikter med trålere. Tapt redskap fører også til forsøpling og kan videre føre til nye tap ettersom nytt bruk blir satt i samme område og hekter. Fiskeridirektoratet foretok i 2018 en opprensking av 8600 snøkrabbeteiner (81 lenker) som hadde stått i 1,5 år (Langedal og Kalvenes 2018), der også HI deltok for å samle fangstdata (Humborstad m. fl., in. prep.). Alle lenkene hadde fangst. Samlet fangst ble estimert til 15 000 individer, men det var stor variasjon i antall teiner med fangst per lenke og antall krabber per teine mellom lenker. 97% av fangsten i teinene var levende. Disse resultatene gir et viktig innblikk i potensialet for spøkelsesfiske for snøkrabbeteiner, selv etter at de har stått lang tid i havet. Tilsvarende studier fra andre områder viser at selvegning og skjult beskatning kan være en utfordring i snøkrabbefisket (Hébert m.fl., 2001).

Den beste løsningen for å unngå spøkelsesfiske vil være å unngå tap av redskap i utgangspunktet og finne effektive metoder for rask gjenfinning i tilfelle tap. Dette har i andre fiskerier vist seg å være krevende, og i flere tilfeller er man avhengige av egne opprenskingstokt der man går på tapsposisjoner for å sokne opp redskapen. Slike tokt utføres i dag både for garn- og kongekrabbefiskeriene i regi av Fiskeridirektoratet, men disse toktene er veldig kostbare. Det er derfor viktig å forhindre at teiner tapes i utgangspunktet og at teiner som mistes opphører å fiske og slipper ut fangsten. I 2019 ble det testet en prototype bøye som skal forhindre tap av teinelenker på grunn av drivis som sliter av ilene, en av hovedårsakene til tap av snøkrabbeteiner. Arbeidet med videreutvikling av bøyen pågår.

For å hindre at redskap som likevel går tapt ikke skal fortsette å fiske i lang tid etter de ble mistet, kan det monteres løsninger der rømmingshull aktiveres etter en viss tid i sjøen. Bruk av nedbrytbar tråd (råtnetråd) for å lisse samen åpninger i notlinet i teineveggen eller holde på plass luker er en enkel og effektiv metode som er påbudt i flere teinefiskerier i nord-Amerika og i det norske fisket etter hummer og taskekrabbe (fritidsfisket). Høyeste tillatte tråddiameter varierer mellom fiskerier. I det norske hummerfisket, som er et sesongfiskeri med en varighet på 2-3 måneder, er høyeste tillatte tråddiameter 3 mm. I det kanadiske snøkrabbefisket er det påbudt å bruke en råtnetråd med en diameter på maksimalt 4 mm. I Canada er snøkrabbefisket et sesongfiskeri med en varighet på 2- 4 måneder, mens det norske fisket har varighet opp mot 9 måneder. Utover et kortere forsøk med en varighet på tre måneder, har Havforskningsinstituttet ikke gjort målinger av levetid for råtnetråd i det

norske snøkrabbefisket. Det er gjort målinger av nedbrytningshastighet for samme tråddimensjon som benyttes i det kanadiske fisket. Disse målingene ble foretatt på kysten av Finnmark og viste at tråden var nedbrutt etter rundt 6 måneder i sjøen. Kanadiske forsøk har vist tilsvarende nedbrytningshastighet også ved temperaturer under 0°C (Winger m.fl. 2015). Disse målingene tar imidlertid ikke høyde for gnagslitasje på tråd fra håndtering og krabber. Praktisk levetid vil derfor antas å være kortere enn 6 måneder. Ved bruk av 4 mm bomullstråd vil det følgelig være nødvendig med minst ett trådskifte i løpet av fiskesesongen i det norske fisket. Bruk av tynnere tråd forventes å kreve ytterligere trådskifter. Fordi det i snøkrabbefisket benyttes et stort antall teiner per fartøy, vil dette være en arbeidskrevende prosess. Samtidig vil potensiell tid for spøkelsesfiske ved redskapstap være relativt lang ved bruk av en 4mm tråd. Et alternativ det arbeides med er en kassettløsning med panel av råtnetråd. Dette tillater raskt skifte, samtidig som det kan brukes tynnere tråd, som igjen gir kortere spøkelsesfisketid ved redskapstap. Kassettløsningen må videreutvikles og testes i kommersielt fiske.

Det anbefales å videreføre arbeidet med teknologiutvikling for å forhindre tap i utgangspunktet og for å hindre utilsiktet dødelighet, dårlig dyrevelferd og skjult beskatning i tilfelle redskapstap.

Andre forskningsbehov

Det er i dag ikke noen krav om teineutforming, rømningsveier eller minste maskevidde i snøkrabbeteiner. All hunnkrabbe, undermålskrabbe og bløtkrabbe skal settes ut igjen, men det er ikke gjort undersøkelser av overlevelse eller skadefrekvens ved ombordsortering og påfølgende gjenutsetting. Det er ønskelig at utsortering i størst mulig grad skjer på fiskedypet ved bruk av masker eller fluktåpninger tilpasset minstemålet for krabben. I 2019 ble det gjennomført en undersøkelse av seleksjon i teiner ved bruk av fluktåpninger på 100 og 115 mm. Begge fluktåpningene førte til stor reduksjon i fangstene, også av krabbe over minstemål. Fluktåpning på 100 mm var heller ikke effektiv i å sortere ut undermålskrabbe og arbeidet med seleksjon bør videreføres. En alternativ metode er å benytte spalter og utnytte forholdet mellom skallbredde som angir minstemål og skallhøyde (Broadhurst m. fl., 2018). Det anbefales videre å utarbeide prosedyrer for skånsom gjenutsetting av undermålskrabber slik at disse i størst mulig grad overlever.

Studier av fangsteffektivitet viser at teiner med inngang på toppen er lite effektive. I 2019 ble det gjennomført forsøk med teiner med liten maskevidde. Disse teinene førte til vesentlig høyere fangstrater av overmålskrabbe, men også undermålskrabbe. Arbeid som kan føre til effektivitetsøkning vil kunne redusere nødvendig teineantall og dermed ha positive virkninger på miljø og agnforbruk, og anbefales gjennomført.

Referanser

Broadhurst, M. K., Millar, R. B., & Hughes, B. 2018. Utility of multiple escape gaps in Australian Scylla serrata traps. *Fisheries research*, *204*, 88-94.

Dahle, G., Sainte-Marie, B., Hardy, S.H., Farestveit, E., Agnalt, A.L. Snow crab in the Barents Sea – introduction by ballast water or invasion from the East? (manuscript)

Hébert, M., Miron, G., Moriyasu, M., Vienneau, R. and DeGrâce, P., 2001. Efficiency and ghost fishing of snow crab (Chionoecetes opilio) traps in the Gulf of St. Lawrence. Fisheries Research, 52(3), pp.143-153. https://doi.org/10.1016/S0165-7836(00)00259-9

Humborstad, O.B., Eliassen Krøger, L. Hjelset, A.M., Løkkeborg, S., Siikavuopio, S. and Wiech, M. (in prep). Catches in abandoned snow crab pots in the Barents Sea.

Hvingel, C. and M.C.S. Kingsley. 2006. A framework to model shrimp (*Pandalus borealis*) stock dynamics and quantify risk associated with alternative management options, using Bayesian methods. ICES J. Mar. Sci. 63:68–82.

Nunkoo, I, Hemmingsen, W., McKenzie, K., Karlsbakk, E., Arneberg, P. 2019. The Barents Sea snow crab (*Chionoecetes opilio*) invasion and *Trypanosoma murmanense* infections in cod (*Gadus morhua*). Submitted in Biological Invasions

Jørgensen, L.L. 2017. Vurdering av sårbare bunnhabitater i det nordlige Barentshavet; trålfangete bunndyr fra det årlige øko-toktet. Rapport fra Havforskningen 19-2017.

Langedal, G. og Kalvenes, O. 2018. Oppreinsking gjenstående snøkrabbeteiner. Rapport fra Fiskeridirektoratet.

Oug, E., Cochrane, S., Sundet, J.H., Norling, K. & Nilsson, H.C. 2011.Effects of the invasive red king crab *(Paralithodes camtschaticus*) on soft bottom fauna in the Varangerfjorden, northern Norway. Mar Biodiv. 41: 467-479. DOI 10.1007/s12526-010-0068-6

Oug, E., J.H. Sundet, S.K.J. Cochrane. 2017. Structural and functional changes of soft-bottom ecosystems in northern fjords invaded by the red king crab (*Paralithodes camtschaticus*). Journal of Marine Systems, 2017. Doi: 10.1016/j.jmarsys.2017.07.005

Sundet, J.H., Tranang, C.A., Nilssen, E.M., Jenssen, M. (in prep). Stomach content of the snow crab (*Chionoecetes opilio*) from the Barents Sea.

Winger, P.D., Legge, G., Batten, C. and Bishop, G., 2015. Evaluating potential biodegradable twines for use in the snow crab fishery off Newfoundland and Labrador. Fisheries research, 161, pp.21-23. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.06.007