

Alle frykter unormale hendelser som både kan skade miljøet og egne interesser. Hvor stor er risikoen? Hva er egentlig normalt? Hvor store verdier kan vi tillate oss å sette på spill?

Hvert år utgir Fiskeridirektoratet en trykksak som kalles "Nøkkeltall fra norsk havbruksnæring". Tallene viser at havbruk er en utsatt næring, som risikerer sykdom, rømming, kjønnsmodning, giftige alger, smoltifisering, sårinfeksjon og mange andre plager.

Det å risikere noe er på langt nær særegent for oppdrettsnæringen. All menneskelig aktivitet innebærer en viss risiko. Dagliglivet er et godt eksempel. Tar man bil til jobben, risikerer man å kolliderer med

andre biler. Går man til jobben, risikerer man å bli påkjørt. Holder man seg hjemme og ser TV, risikerer man at TV-apparatet eksploderer. Noen aktiviteter medfører høy risiko, mens andre representerer en ubetydelig risiko. Men selv ikke passivitet er helt risikofritt.

Næringsvirksomhet i og ved havet innebærer i særlig grad risiko for uønskede hendelser som følge av naturkreftenes eller menneskenes spill. Myndighetene er forberedt på slike unormale hendelser. Fiskeridirektoratets varslings- og beredskapsplan ved krisehåndtering i kystsonen fra 1977 forteller at myndighetene forventer problemer på grunn av giftige algeoppblomstringer, oljesøl, industri, kjemi-



Figur 6.58

En tilsynelatende normal dag i Kyst-Norge. Ingen miljøkriser i sikte. Men før eller siden vil det komme en storm som gjør sjøen til et inferno, senker skip og ødelegger landfaste verdier. På overflaten driver det kanskje allerede oljeutslipp. Under overflaten kan farlige forurensninger og giftige alger nærme seg. Hvor stor er sannsynligheten for at denne normale dagen vil ende i en krise?

A normal day on the Norwegian coast. No environmental problems in sight. However, destructive storms may be building up in the atmosphere. Oil spill from a sunken tanker may drift on the surface. Below the surface dangerous pollutants and poisonous algae may be homing in. Our authorities are prepared to meet environmental crises, but how probable are they to occur?

kalieutslipp, ilanddrevne sjøpattedyr, atomulykker med radioaktivitet, ekstremt vær, massedød av fisk og rømt oppdrettsfisk (Figur 6.58).

Sannsynlighetsbegrepet

Forventning er et upresist uttrykk for sannsynlighet. Hvis det f.eks. oppdages giftige alger i et område, forventes det fiskedød i nærliggende oppdrettsanlegg. Men hvor sannsynlig er det at en slik hendelse vil inntreffe? Her kommer sannsynlighetsregningen inn. Vi disponerer i dag objektive og rasjonelle matematiske metoder som kan regne ut sannsynlighetstall for både tenkelige og utenkelige miljøhendelser. Men metodikken er ikke nødvendigvis korrekt. Sannsynlighetsregning er nemlig grunnleggende usikker.

Tabell 6.5

Sannsynlighetsskalaen. 1 representerer en absolutt sikker hendelse. 0 representerer en absolutt umulighet. Alle hendelser som ikke er helt sikre eller helt umulige har en sannsynlighet mellom 0 og 1.

The probability scale. 1 represents an event that is absolutely certain to occur, i.e.: one day you will die. 0 represents an event that will never occur, i.e.: one day you may jump to the moon.

Skala	Sjansse	Hendelse
1	Absolutt sikkert	At du vil dø en dag
0.9		
0.8		
0.7		
0.6		
0.5	50/50 sjansse	Mynt-krone
0.4		
0.3		
0.2		
0.1		
0	Absolutt umulig	Å hoppe til månen

Sannsynlighet kan måles

Selv om sannsynlighet er noe som er usikkert, er det likevel en målbar størrelse. Måleenheten er et tall mellom 0 og 1 på en sannsynlighetsskala. Tabell 1 viser denne sannsynlighetsskalaen. Tallet 1 representerer den absolutte visshet. Det er absolutt sikkert at du vil dø en gang. Matematikeren betegner denne helt sikre hendelsen som $p=1$, der p er en forkortelse for det engelske ordet "probability" (sannsynlighet). Nederst finner vi tallet 0 som tilsvarende angir den absolutte umulighet. Det er absolutt umulig at du klarer å hoppe til månen ved egen hjelp. Matematikeren sier at $p=0$. En hendelse som verken er helt umulig eller er helt sikker har en sannsynlighet mellom 0 og 1.

Beregning av sannsynlighet

Der er flere måter å komme frem til et sannsynlighetstall på. Den mest brukte metoden er den empiriske. Denne er basert på reelle eller tenkte "forsøk". Man teller hvor mange ganger en hendelse inntreffer ved et bestemt antall forsøk. Deretter defineres den empiriske sannsynlighet som:

$$p = \frac{\text{Det totale antall ganger en hendelse inntreffer}}{\text{Forsøkernes totale antall}}$$

De fleste sannsynlighetstall i vårt liv er empirisk bestemte. Av Fiskeridirektoratets nøkkeltall for norsk havbruksnæring finner vi f.eks. at det i Finnmark ble slaktet 4.17 mill. laks i 2000 og at det ble rapportert 43 000 rømminger i 1999. Dersom vi antar at antall slaktede individer i 2000 er et godt mål for populasjonen i 1999, kan vi empirisk beregne sannsynligheten for at en tilfeldig fisk i et oppdrettsanlegg i Finnmark ville rømme i løpet av 1999 til $43000/4170000 = 0.01$. I gjennomsnitt vil altså hver 100. fisk rømme.

Tre grunnleggende sannsynlighetsregler

Avansert sannsynlighetsregning er vanskelig. Men i hverdagen kommer man ganske langt med kjennskap til Tabell 1 og følgende tre grunnleggende sannsynlighetsregler:

Regel 1

Dersom sannsynligheten for en hendelse A er $p(A)$ er sannsynligheten for at A ikke inntreffer lik $1 - p(A)$

Regel 2

Dersom sannsynligheten for en begivenhet er $p(A)$ og sannsynligheten for en annen begivenhet er $p(B)$ og $p(A)$ og $p(B)$ ikke kan inntreffe samtidig, er sannsynligheten for at en av hendelsene vil opptre lik $p(A) + p(B)$

Regel 3

Dersom sannsynligheten for en hendelse er $p(A)$ og sannsynligheten for en annen hendelse er $p(B)$ er sannsynligheten for at både A og B inntreffer lik $p(A) \times p(B)$

"En ulykke kommer sjelden alene"

Når ulykken rammer, kan det føles som om alt som kan gå galt skjer samtidig. Men sannsynlighetsreglene sier det motsatte. En ulykke som krever at to eller flere begivenheter opptrer samtidig er i virkeligheten høyst usannsynlig.

Et settefiskanlegg må f.eks. ha jevn tilførsel av friskt vann. Dersom vanntilførselen stanser samtidig som de driftsansvarlige ikke varsles, vil settefisken dø, og katastrofen er et faktum. Dette er en typisk regel 3-situasjon. Dersom vanntilførselen svikter typisk én dag per år, kan vi anslå sannsynligheten for vannsvikt som $1/365 = 0.0027$. Dersom varslingsanlegget i gjennomsnitt er ute av drift to dager per år, blir sannsynligheten for sviktende varsling på en tilfeldig dag lik $2/365 = 0.0054$.

Sannsynligheten for at vannforsyning og varsling en dag skal svikte samtidig er ifølge regel 3 produktet av de to sannsynlighetene, dvs. $0.0054 \times 0.0027 = 0.0000146$. Det vil altså sannsynligvis gå ca. 100 000 dager eller 274 år før denne ulykken skjer.

“En ulykke kommer alltid alene “ ville statistisk sett vært et mye riktigere ordspråk!

Hva er egentlig normalt?

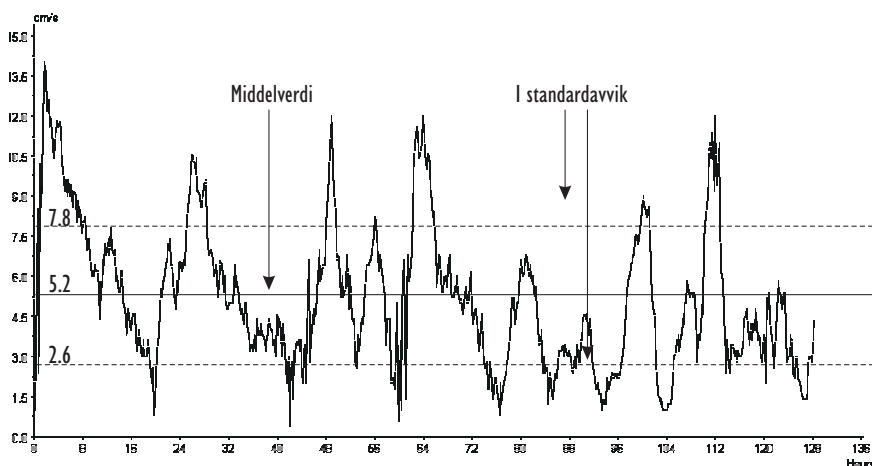
Normalbegrepet er viktig. Vi vil gjerne ha det som normalt. Den “normale” strømmen rundt en oppdrettslokalitet er f.eks. avgjørende for lokalitetens bæreevne. For å få konsesjon må oppdretteren utføre strømmålinger som sannsynliggjør at de normale strømforholdene er akseptable og at det er liten sannsynlighet for ekstreme strømverdier.

Figur 6.59 viser en typisk måleserie av strømstyrken ved et anlegg. Hva er normal strøm for denne lokaliteten? Det vanligste er å beregne den aritmetiske gjennomsnittsverdien. Det viste diagrammet bygger på 771 enkeltregistreringer. Det aritmet-

iske gjennomsnitt, dvs. summen av alle målte strømhastigheter delt på antall målinger = 5.2 cm/s.

Middelverdien antas vanligvis å være representativ for alle målingene, selvste “den normale” strømhastigheten. Mon det? Figuren viser faktisk at strømmen bare ytterst sjelden er lik middelverdien. Middelverdien forteller heller ikke hvor mye strømmen varierer. Selv om gjennomsnittsverdien kan være en bra strømverdi for oppdrettsanlegget, kan kanskje maksimums- eller minimumsverdiene være katastrofale. Vi trenger derfor tilleggsparametre som kan beskrive hvor store avvik fra middelverdien vi kan vente oss. Disse parametrene kalles varians og standardavvik.

Variansen, dvs. det gjennomsnittlige kvadrerte avvik fra middelverdien, er en sentral parameter som inngår i de fleste avanserte statistiske beregninger. Blant annet benyttes den i en matematisk modell (“MOM”-modellen), som kan avgjøre om et anlegg får konsesjon eller ikke. Datamaskiner trives med kvadrerte tall, men for både oppdrettere og folk flest er det lettere å forholde seg til den normale måleenheten cm/s. Derfor beregner vi også kvadratroten av variansen. Dette kalles standardavviket. Standardavviket kan oppfattes som det gjennomsnittlige avviket fra strømmens middelverdi. I praksis vil strømhastigheten på en gitt lokalitet stort sett ligge innenfor $+ - 1$ standardavvik fra beregnet middelverdi. I det viste eksempel er standardavviket 2.6 cm/s. Strømhastigheten vil derfor sannsynligvis til enhver tid ligge et sted mellom 2.6 og 7.8 cm/s.



Figur 6.59

Målt strømhastighet ved et oppdrettsanlegg. I måleperioden er strømhastigheten svært sjelden lik middelverdien, men som forventet ligger den stort sett innenfor $+ - 1$ standardavvik. Recorded current speed at a fish farm location. The current speed is very seldom equal to the calculated mean current speed, but most of the time it is within $+ - 1$ standard deviation.

Korrelasjon og årsakssammenheng

En av de vanskeligste oppgaver en miljøforsker kan settes til er å avgjøre hva som forårsaker et definert miljøproblem. En fabrikk slipper f.eks. miljøgiftig avfall ut i en tilstøtende fjord. Det observeres mye død fisk i fjorden. Er fabrikk ansvarlig? I slike saker dreier argumenteringen seg om nok et statistisk begrep, nemlig korrelasjon. To begivenheter X og Y er korrelert dersom begivenhet X ofte opptrer sammen med Y. To begivenheter X og Y har en årsakssammenheng dersom X alltid følger Y.

En forsker som ønsker å tallfeste korrelasjoner må vanligvis gjøre eksperimenter. Et typisk eksperiment i giftsaken som nevnt over ville være å fore forsøksgrupper av fisk med økende konsentrasjoner av den aktuelle miljøgiften og deretter observere dødeligheten. Er funksjonssammenhengen mellom giftinntak X og dødelighet Y perfekt, (noe som aldri skjer i praktisk forskning) får han et diagram som vist i Figur 6.60A. Er der en viss funksjonssammenheng, blir resultatet som i Figur 6.60B, mens ingen funksjonssammenheng vil gi et plott som i Figur 6.60C.

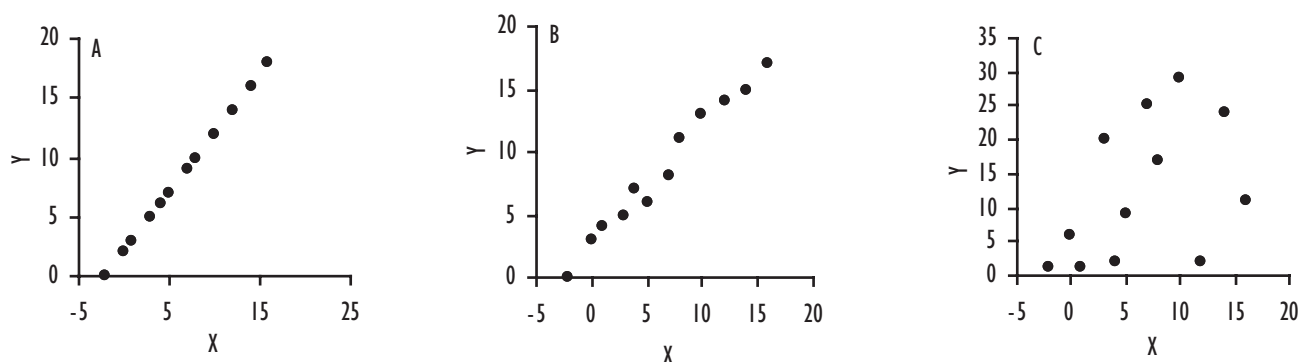
Det er viktig å ha klart for seg at en påvist funksjonssammenheng ikke nødvendigvis også betyr årsakssammenheng. Korrelasjonen kan være tilfeldig. Der er kanskje ikke gjort mange nok eksperimenter. Eksperimentet kan ha systematiske feil. I siste instans må det brukes skjønn. Miljø saker ender derfor ofte i retten.

Livsfarlige kjernekraftverk - et nytt favorittmål for terrorister

Noen former for miljørisiko gjelder vår egen tid, mens andre er farlige på lang sikt. Kjernekraft er nå vårt største akuttproblem. En eksplosjon i et kjernekraftverk vil ha forferdelige miljøkonsekvenser både der ulykken skjer og i alle tilgrensende områder. Kjernekraftindustrien benekter ikke dette, men den fremstiller sannsynligheten for en reaktoreksplosjon som så liten at ulykker aldri kan forekomme i praksis. Offisielle tall fra britisk kjernekraftenergi angir f.eks. at landets kjernekraftverk er så sikre at det statistisk sett vil gå 10 000 år før det skjer en ødeleggende ulykke i ett av dem.

Tallene er ment som et argument for kjernekraft. Men de kan like gjerne vinkles til et argument mot kjernekraft. 10 000 år mellom hver ulykke betyr 0.0001 alvorlige reaktorulykker per reaktor per år. I vest-Europa har vi nå 124 aktive kjernekraftverk. Dersom vi antar at alle er like sikre, blir risikoen for en alvorlig ulykke i ett av dem 124 ganger større, dvs. 0.012 per år. Sannsynligheten for en eksplosjon i løpet av de neste 25 år er $25 \times 0.012 = 0.3$.

Det er altså en sjanse mot tre for at det vil oppstå en kjernekraftulykke i vest-Europa med store tap av menneskeliv og ødeleggende miljøeffekter innen år 2027. Den økende sannsynlighet for terroristangrep mot kjernekraftverk gjør ikke situasjonen bedre.



Figur 6.60

Prinsipielle korrelasjonssammenhenger mellom to størrelser X og Y. A: Perfekt korrelasjon. B: Sannsynlig korrelasjon. C: Ingen korrelasjon.

Principal correlation between variables X and Y. A: Perfect correlation. B: Probable correlation. C: No correlation.

Hvor går grensen for akseptabel risiko?

Å gi tillatelse til menneskelige aktiviteter som med en tallfestet sannsynlighet kan skade både dagens og fremtidens miljø, er ubehagelig for enhver myndighet. Bevisst eller ubevisst må myndighetene avveie forventet gevinst mot forventet tap. Frontene i de fleste miljødebatter gir seg selv. Naturvernerne maksimerer risikoaspektet mens motparten bagatelliserer risikoen. Argumenteringen er følelsesbetont og følger gjerne politiske skillelinjer. Kjølige analyser av forventet tap og forventet gevinst er stort sett fraværende i offentlig miljødebatt.

Konklusjon

Risikohåndtering er en uunngåelig del av marin

miljøforvaltning. I risikosaker er det viktig å kunne vurdere alvorlighetsgraden av en oppstått eller en fryktet hendelse og handle deretter. Ingen er tjent med at en bagatellmessig risiko overdrives eller at en dødsens alvorlig risiko bagatelliseres. Risiko er uunngåelig, men risikoanalyse kan hjelpe oss til å treffe rasjonelle beslutninger.

Summary

All human activity – including inaction – carries an element of risk. Risks to the marine environment must be met in appropriate ways. Risk analysis based on the rules of probability may sort out small risks from large ones and enable us to make decisions that are in proportion with the actual degree of risk.