



FFI Forsvarets
forskningsinstitutt

21/02471

FFI-RAPPORT

Rydding av blindgjengere i Hjerkinnskytefelt

– sluttrapport om statistisk behandling og restrisiko

Ove Dullum

Rydding av blindgjengere i Hjerkinnskytefelt – sluttrapport om statistisk behandling og restrisiko

Ove Dullum

Emneord

Ammunisjon
Blindgjengere
Risikovurdering

FFI-rapport

21/02471

Prosjektnummer

529702

Elektronisk ISBN

978-82-464-3383-7

Engelsk tittel

The EOD campaign at Hjerkin Firing Range – The remaining hazard

Godkjenner

Hege Jødahl, *forskningsleder*

Arne Petter Bartholsen, *forskningssjef*

Dokumentet er elektronisk godkjent og har derfor ikke håndskreven signatur

Opphavsrett

© Forsvarets forskningsinstitutt (FFI). Publikasjonen kan siteres fritt med kildehenvisning.

Sammen drag

Forsvarsbygg har i tidsrommet 2006 – 2021 drevet med opprydding i Hjerkinnskytefelt i forbindelse med at nesten hele skytefeltet skal overføres til sivile myndigheter og bli en del Dovrefjell-Sunndalsfjella nasjonalpark. Ryddingen har omfattet fjerning av alt som har vært knyttet til den militære aktiviteten som ammunisjon, målarrangementer, skrot og infrastruktur som kommunikasjonslinjer, veier, broer, dammer, bygninger osv. En spesielt stor innsats har blitt gjort for å fjerne gammel ammunisjon som har blitt etterlatt eller som ikke har fungert etter hensikten og dermed blitt liggende igjen som blindgjengere. Slike objekter utgjør en potensiell risiko for både mennesker og dyr ved at de kan detonere med berøring samt å medføre en viss giftrisiko for beitende dyr. FFI har bidratt til denne prosessen ved å gjøre en årlig statistisk analyse av forutgående funn samtidig som man har gitt anbefalinger om hvilke områder som bør prioriteres ved påfølgende søk. De siste fem årene er det også blitt gitt prediksjoner av hvor mange objekter som trolig ligger igjen ved kampanjens avslutning og hvilken restrisiko disse utgjør. Risikovurdering viser at det sannsynligvis er mindre enn ett hundre synlige objekter som ligger igjen i feltet. Selv med en lang fottur i feltet gir dette en risiko som er mindre enn det de aller fleste utsettes for i dagliglivet.

Summary

The Norwegian Defence Estates Agency has, in the period of 2006 – 2021, made a major cleanup of the former Hjerkin Firing Range in preparation of the transfer of the area to civilian authorities and to become a part of the Dovrefjell-Sunndalsfjella National Park. The cleanup has consisted of removal of everything connected to the former military activity, like ammunition, target arrangements, rubbish, and infrastructure like roads, lines of communication, bridges, dams, buildings etc. A large part of the campaign has been to remove explosive objects including projectiles that has not functioned as intended and thus remain as duds. Such objects are a potential risk to both humans and animals as they may detonate upon handling and may be poisonous to pasturing creatures. FFI has contributed to the campaign by making an annual statistical analysis of the results of this EOD-operation. The analysis has also consisted of a recommendation on where to concentrate the EOD-resources during the following years. During the last five years, the analysis has also included a prediction of the expected state at the 2021 finalization of the campaign, and to what extent the remaining objects still may be a risk to the civilian society. The risk evaluation shows that it probably is less than one hundred visible objects remaining in the area. Even during a long walk in the area, the hiker is exposed a risk level that is less than what most people are exposed to in their daily life.

Innhold

1	Innledning	7
2	Kartgrunnlag	8
3	Statistisk grunnlag	10
3.1	Databasen	10
3.2	Objektene faregrad	11
4	Statistisk analyse	13
4.1	Tallmaterialet	13
4.2	Grunnleggende metodikk	14
4.3	Funnsannsynlighet	15
4.4	Beregning av sannsynlig antall gjenværende objekter	16
4.5	Områder uten tidligere funn	17
4.6	Framskrivning av resultatene til kampanjens avslutning	18
4.7	Kommentar til den statistiske modellen	18
4.8	Kritikk av metoden	19
5	Gjenværende objekter	21
5.1	Funnsannsynlighet	21
5.2	Helhetlig vs. rutevis betraktning	22
5.3	Hvor er de gjenværende objektene?	23
6	Prognoser	24
7	Restrisiko	25
7.1	Kvantifisering av risiko,	25
7.2	Akseptabel risiko	26
7.3	Kollektiv risiko	28
8	Konklusjon	29
	Referanser	30

Forord

FFI har gjennom flere tiår vært bruker og observatør i Hjerkinnskytefelt i forbindelse med mange prøver og forsøk med ulike våpen. Vi har vært engasjert i testing av artilleri, miner, flybomber, MP-ammunisjon, klasevåpen, panserbekjempende våpen, autonome beskyttelsessystemer osv. I sammenheng med nedleggelsen av feltet gjorde FFI allerede i 2004 en studie av mengden og fordelingen av mulige blindgjengere og i hvilken grad de utgjorde en fare for de som oppholdt seg i feltet. Etter at feltet offisielt ble nedlagt i 2006 og Forsvarsbygg startet oppryddingen har FFI kunnet følge framdriften i ryddingen og dermed vært i stand til å utgi årlige vurderinger av status og anbefalinger av hvilke områder som bør prioriteres. De siste fem årene har det statistiske tilfanget av data gjort det mulig å forutsi restrisikoen i feltet ved arbeidets avslutning i 2021.

På grunn av korona-pandemien i 2020, ble ryddingen det året mindre omfattende enn planlagt slik at noe arbeid måtte utsettes til 2021. Disse siste resultatene er inkludert i den foreliggende rapporten.

Denne studien har vært mulig takket være Forsvarsbygg/Hjerkinnskytefelt sin omfattende og nøyaktige dokumentasjon av funnene, med koordinater og type funn, i tillegg til at man har holdt kontinuerlig rede på hvilke områder som er gjennomført og hvor mange ganger det er gjort. Uten all denne informasjonen hadde denne analysen vært umulig å gjennomføre. Denne måten å dokumentere funnene på bør tjene som et forbilde for hvordan slike kampanjer bør gjennomføres. Tilsynelatende er denne kampanjen enestående også i global sammenheng.

Jeg vil med dette takke Odd-Erik Martinsen, Pål Skovli Henriksen, Ole Petter Gundersen og Frank Robert Pettersen og andre i prosjektet for godt samarbeid gjennom mange år.

Kjeller, 18. november 2021
Ove Dullum

1 Innledning

FFI har tidligere gjennomført flere analyser relatert til ryddingen på Hjerkinns skytefelt [1,2,3]. De to siste rapportene har inneholdt en statistisk modell som anslår kvaliteten i ryddingen i form av en funnsannsynlighet og et estimat av antall gjenværende objekter i feltet.

I 2015 tok ryddingen et betydelig steg framover ved at hele feltet nå i praksis er gjennomført én eller flere ganger. Noen mindre områder er ikke saumfart, men dette er stort sett områder som karakteriseres som alpine ved at terrenget er ulendt og har en helning på mer enn 45 grader.

Siden ryddingen startet i 2006 er det gjort nesten 4000 funn av objekter med eksplosivt eller pyroteknisk innhold, og med et kaliber på mer enn 20 mm. Av disse er 3280 objekter registrert med koordinater for funnstedet. Takket være det store antall funn, den systematiske letingen og at funnenes posisjon er nøyaktig registrert, har det vært mulig å gi kvantitative vurderinger av kvaliteten av ryddingen. Objekter uten registrert funnposisjon kan ikke brukes i statistikken.

Disse analysene har dannet grunnlag for å gi anbefalinger om i hvilke områder man bør lete i den etterfølgende sesongen. Prinsippet har hele tiden vært å minimalisere det gjenværende antall objekter. På grunn av begrensninger i antall letemannskaper og logistiske begrensninger, har det ikke vært mulig å følge anbefalingene 100%. Eksempelvis er letingen i de mest brattlendte områder, områder i periferien av feltet og andre områder som vurderes som lite attraktive for fotturister fått en lavere prioritet enn de sentrale områder hvor tettheten av objekter er høyest.

De siste 5 – 6 årene har det også blitt produsert beregninger av hvor mange objekter som vil ligge igjen når letingen avsluttes. Slike prognoser har inneholdt tall for forventet antall funn i de etterfølgende sesonger. Det har vist seg at prognosene har vært i brukbar overensstemmelse med de aktuelle funn som senere har blitt gjort. I denne rapporten har det selvsagt ingen hensikt å komme med prognoser, men metoden for å komme fram til slike prognoser er dokumentert i vedlegg A.

Den vanskeligste delen av analysen er spørsmålet om hva slags risiko, for den enkelte og for samfunnet, de gjenværende objektene vil utgjøre. En ulykke som rammer en fotturist på grunn av et oversett objekt, vil ikke være akseptabelt. Ikke desto mindre, må samfunnet akseptere at risikoen ved å bevege seg i feltet aldri vil bli lik null, men risikoen må ikke utgjøre noen dominerende trussel i forhold til andre farer et gjennomsnittsmenneske møter i hverdagen.

2 Kartgrunnlag

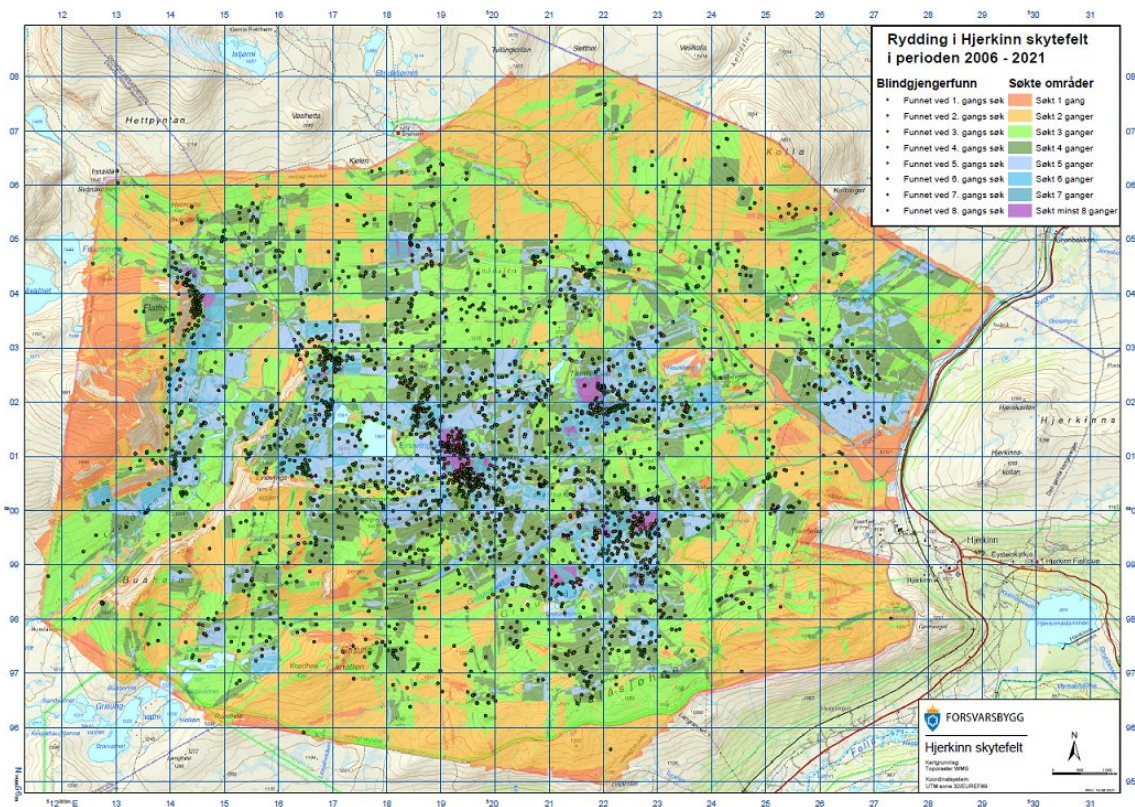
I denne rapporten vil vi presentere resultater i form av matriser hvor hvert element betegner en rute på 500 x 500 m (250 dekar). Hver kilometerrute deles i 4 like store deler som hver er gitt en betegnelse som består av 6 karakterer etter følgende system

- De to første karakterene er kilometrutas øst-koordinat i UTM-systemet (to siste siffer)
- Tredje karakter er *v* eller *o* som sier om ruta ligger vest eller øst i km-ruta
- Fjerde og femte karakter gir km-rutas nord-koordinat i UTM-systemet
- Sjette karakter er *s* eller *n* og sier om ruta ligger sør eller nord i km-ruta

Eksempelvis får 500 x 500 m ruta som ligger nordøst i km-ruta 2097 betegnelsen 20o97n. Den fullstendige UTM-koordinaten for midtpunktet i denne ruta er 32V 520750 6897750.

Figur 2.1 viser hvordan denne inndeling ligger i terrenget. Etterfølgende figurer vil kun vise selve matrisen, uten kartet i bakgrunnen. Dette er gjort for å bedre tydeligheten av tallene.

Samtidig viser kartet funnpunktene i form av svarte prikker, mens fargekoden antyder hvor mange søk som har blitt gjort i de enkelte områdene. Dette utgjør hoveddelen av det statistiske materialet vi har arbeidet med.



Figur 2.1 Kart som viser beliggenheten av koordinatsystemet samt funnpunkter og hvor mange ganger det enkelte området er gjennomført; rødbrunt – én gang, oransje – to ganger; grønt – tre ganger; mørk grønt – fire ganger, lys blått fem ganger, blått – seks ganger, blågrønt – sju ganger, lilla – åtte ganger eller mer.

3 Statistisk grunnlag

3.1 Databasen

Fra Forsvarsbygg har FFI årlig mottatt en database som beskriver alle funn av eksplosive objekter ved årets og tidligere års leteaksjoner. Databasen inneholder følgende data:

- Objektnummer
- Betegnelse på ammunisjonen
- Høyde på funnsted
- Funntidspunkt (dato)
- Hvilken søkegruppe som fant objektet
- Eventuelle merknader
- Funntype (f.eks. brannrør, bombe, prosjektil osv.)
- Ved hvilken gangs søk funnet ble gjort
- Funnets posisjon (UTM-koordinater)
- Risikogruppe (A1-A5)
- Hvor mange ganger det er per dato søkt på funnstedet

Funnene fordeler seg over hele feltet, men som ventet er tettheten av funn høyest i de sentrale delene av feltet, mens det er mer glissent med funn i ytterkantene. I figur 2.1 er funnene fordelt over ruter på 500 x 500 m.

Hjerkinn PRO sin database inneholder 3833 objekter med kaliber over 20 mm. Imidlertid kan ikke alle brukes i vår modell for beregning av restrisiko. Dette omfatter:

- Objekter hvor det ikke er oppgitt ved hvilken gangs søk de er funnet
- Objekter funnet ved såkalt teknisk søk, dvs. ved hjelp av hund eller metalldetektor
- Objekter som har kommet til syne etter revegetering
- En rekke funn som er registrert med lik koordinat, lik type og likt funntidspunkt. Dette blir registrert som ett enkelt funn.

Antall funn som lar seg bruke i den statistiske analysen blir dermed 3280.

Av disse funnene er de fleste funnet ved første gangs søk. Fordelingen er som følger:

- 2282 er gjort ved første gangs søk
- 548 er gjort ved annen gangs søk

- 234 er gjort ved tredje gangs søk
- 115 er gjort ved fjerde gangs søk
- 65 er gjort ved femte gangs søk
- 23 er gjort ved sjette gangs søk
- 11 er gjort ved sjuende gangs søk
- 2 er gjort ved åttende gangs søk

Figur 3.1 viser hvor mange funn som er gjort i hver enkelt rute.

	11o	12v	12o	13v	13o	14v	14o	15v	15o	16v	16o	17v	17o	18v	18o	19v	19o	20v	20o	21v	21o	22v	22o	23v	23o	24v	24o	25v	25o	26v	26o	27v	27o	28v	
07n	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
06n	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06s	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2	1	4	5	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0
05n	0	0	0	0	1	1	0	3	3	2	0	4	0	1	3	1	0	0	1	0	0	0	1	5	0	0	5	3	3	0	0	0	0	0	
05s	0	0	0	1	0	1	5	7	5	2	0	1	4	8	11	0	2	0	0	1	0	0	1	2	0	0	1	2	2	1	0	0	0	0	
04n	0	0	1	0	0	8	5	3	6	5	1	3	1	8	15	2	3	7	16	6	5	17	3	1	3	5	1	0	3	7	0	0	0	0	
04s	0	0	0	0	3	49	4	6	6	2	7	5	6	3	4	2	4	1	2	10	20	2	2	1	14	2	6	3	2	2	0	0	0	0	
03n	0	0	0	1	3	50	33	1	3	3	0	2	1	11	4	10	7	7	4	11	7	0	2	0	3	1	1	6	1	0	1	0	0	0	
03s	0	0	0	0	3	14	4	1	0	8	14	9	5	12	6	2	2	6	2	2	0	0	10	5	3	2	2	1	4	5	3	0	0	1	
02n	0	0	0	0	2	7	3	1	0	4	40	35	13	8	3	11	8	6	2	4	7	7	10	0	0	4	1	1	6	13	12	2	0	0	
02s	0	0	0	0	5	6	2	2	0	1	15	3	0	19	19	14	18	20	23	4	17	27	13	5	3	1	3	0	6	10	8	2	0	0	
01n	0	0	0	0	5	5	8	2	18	2	31	3	10	8	69	11	17	5	11	5	33	36	6	12	14	0	1	1	0	5	9	9	0	0	
01s	0	0	0	1	5	10	3	5	8	14	8	7	3	5	16	84	8	10	8	11	5	7	3	7	4	0	1	3	0	3	0	0	0	0	
00n	0	0	0	2	4	23	0	3	4	22	12	8	10	13	13	70	60	26	13	8	12	7	5	1	0	0	2	9	1	3	0	0	0	0	
00s	0	0	2	0	5	8	1	0	0	1	9	12	15	14	17	24	47	23	13	6	10	17	18	10	6	1	2	8	5	0	0	0	0	0	
99n	0	0	1	1	5	5	2	4	3	3	9	5	3	7	14	8	12	19	9	13	71	29	73	13	6	8	0	5	0	0	0	0	0	0	
99s	0	1	0	0	0	0	1	1	4	6	9	2	1	9	7	3	11	10	7	7	26	29	21	4	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	
98n	1	0	0	0	0	2	0	5	6	3	1	0	1	5	4	6	3	8	11	12	12	3	25	4	0	2	6	1	0	0	0	0	0	0	
98s	0	1	8	1	0	0	2	3	5	1	1	1	1	3	2	1	2	3	6	6	3	1	5	11	2	6	4	1	0	0	0	1	0	0	
97n	0	0	0	0	3	1	9	4	3	5	2	2	6	5	1	2	0	8	3	3	7	12	16	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
97s	0	0	0	0	0	2	1	1	5	0	0	1	4	9	5	1	4	1	0	10	13	6	10	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
96n	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	2	2	1	6	0	2	2	13	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
96s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	6	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95n	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figur 3.1 Antall registrerte funn i de enkelte rutene.

3.2 Objektens faregrad

Man kan også sortere funnene i henhold til fareklasse eller risikogruppe. Definisjonen av gruppene er vist i tabell 3.1.

Tabell 3.1 Definisjon av risikogrupper.

Risikograd	Følsomhet	EOD-tiltak
A1	Ekstremt farlig	Må ikke berøres! Ladning plasseres inntil, ikke i kontakt.
A2	Meget farlig	Kan berøres, men må ikke beveges.
A3	Farlig	Kan berøres, men må ikke belastes i lengderetningen.
A4	Moderat farlig	Kan beveges, løftes og flyttes en kort strekning meget forsiktig.
A5	Lite farlig	Kan håndteres som sprengstoff uten tennmidler.

Fordelingen med hensyn til fareklasse er vist i tabell 3.2. Her kan man også ta med objekter som ikke har kunnet brukes i den statistiske analysen, bl.a. fordi de er flyttet til sprengningsplass og blitt registrert som funnet der.

Tabell 3.2 Funn fordelt over fareklasse og ved hvilken gangs leting de er funnet. 17 granater som var "kalde" er ikke med her.

Gangs søk	1	2	3	4	5+	Totalt
A1	12	3	2	0	0	17 (0,5 %)
A2	91	19	6	1	1	118 (3,3 %)
A3	1850	401	163	58	39	2511 (69,6 %)
A4	213	50	24	13	23	323 (9,0 %)
A5	501	62	33	30	11	637 (17,7 %)
Totalt	2667	535	228	102	74	3606

Tabell 3.2 viser at den overveiende delen av funnene tilhører fareklasse A3. Dette er typisk kanonprosjektiler av forskjellig kaliber med et tilsynelatende intakt brannrør. Statistikken synes å vise at det ikke er noen sterk sammenheng mellom fareklasse og hvor lett de er å finne. Det vil si at det ikke er slik at de farligste objektene er lettere å finne enn de mindre farlige. Det tyder også på at eventuelle gjenværende objekter heller ikke, i gjennomsnitt, er farligere enn de objekter som hittil er funnet. Det er derfor ingen grunn til å skille mellom fareklassene i den videre analysen.

4 Statistisk analyse

4.1 Tallmaterialet

Dette kapitlet er en dokumentasjon av de matematiske prinsippene som er brukt. En leser som er mer interessert i resultatene kan hoppe over dette kapitlet.

Hensikten med den statistiske analysen er:

1. Bestemme kvaliteten av letingen i form av sannsynligheten for å oppdage et gitt objekt ved ett søk. Denne vil vi heretter kalles funnsannsynligheten.
2. Basert på funnstatistikk og funnsannsynlighet å finne det sannsynlige antall gjenværende objekter.
3. Gjøre et estimat at antall gjenværende objekter når kampanjen når sin avslutning.

Vi deler opp feltet i fire ulike områder alt etter hvor mange søk som er gjort. Statistikk for hvert område blir da som vist i tabell 4.1.

Tabell 4.1 *Funnstatistikk fordelt over gangs søk og antall ganger det er søkt i det området funnet er gjort.*

		Antall ganger området er gjennomført							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Antall funn i søk nr.	1	74	151	489	650	459	202	122	135
	2		34	105	143	114	99	26	27
	3			47	64	54	30	18	21
	4				53	33	9	3	17
	5					41	13	6	5
	6						12	4	7
	7							6	5
	8								2

De blanke rutene er naturligvis en følge av at det, eksempelvis, ikke er gjort funn ved 5. gangs søk i et område som er søkt 2 ganger.

Når man sammenligner disse tallene må man huske på at det området som er søkt minst én gang naturligvis er større enn det området som er søkt minst 2 ganger, som igjen er større enn det området som er søkt minst 3 ganger osv.

Man kan også legge merke til at antall funn, stort sett, avtar med antall søk som er gjort. Dette er et positivt trekk ved statistikken. Avvik fra slike trender ville ha indikert at kvaliteten i søket var svært dårlig eller varierende.

4.2 Grunnleggende metodikk

Funnstatistikk kan behandles på flere måter, men den metodikken som vi har valgt å bruke bygger på at man må bestemme kvaliteten av søkene i form av en funnsannsynlighet.

- Kvaliteten av søkene må bestemmes ut fra funnstatistikk fra gjentatte søk i et område.
- Vi bruker en områdeinndeling basert på hvor mange søk som er gjort.
- Funnstatistikk fra områder som kun er søkt én gang har ingen verdi for å bestemme kvaliteten
- Funnsannsynligheten er den samme overalt i det området som er søkt et visst antall ganger. Dette er en påstand som det er god grunn til stille et spørsmålsteget ved, men som har vist seg å være nødvendig for å komme fram til en løsning.
- Funnsannsynligheten er uavhengig av hvilken type objekt det er.

Dette anses som den beste metoden, men den har en del åpenbare svakheter:

- Funnsannsynligheten må forventes å være delvis avhengig av faktorer som vegetasjon, topografi, mannskapenes treningsgrunnlag og erfaring, mannskapenes motivasjon, værforhold, søkeretning m.m. Imidlertid er disse faktorer som enten ikke lar seg kvantifisere eller som det er svært vanskelig å kvantifisere.
- Man må forvente at de objektene som er lett synlige blir funnet ved første søk, og at de minst synlige blir funnet ved senere søk eller blir liggende igjen. Den foreliggende statistikken antyder at dette er tilfellet, men vi har inntil videre valgt å se bort fra det. Konsekvensen er at vi overvurderer antall gjenværende objekter så lenge det er områder som bare er gjennomført én gang.

4.3 Funnsannsynlighet

Problemstillingen er:

I et område befinner det seg et ukjent N antall objekter. Det er en viss sannsynlighet at et gitt objekt kan bli funnet ved et gitt søk. Denne funnsannsynligheten er også ukjent og kalles for p . Ut fra de antall funn som er gjort, må det estimeres hvilke verdier av N og p som er mest sannsynlig.

La oss, som eksempel, se på det området som er gjennomført flere ganger. Under første søk ble det her funnet n_1 antall funn, annen gang ble det gjort n_2 funn, ved tredje gang n_3 funn osv.

Under en slik prosess vil sannsynlighetsfordelingen av antall funn ved et søk være gitt av en binomisk fordeling. Sannsynligheten, ved første gangs søk, for å gjøre x antall funn i et område med N antall objekter, og hvor deteksjonssannsynligheten er p , vil være lik

$$P_1(x) = \binom{N}{x} p^x (1-p)^{N-x}.$$

Her er binomialkoeffisienten definert som

$$\binom{k}{m} = \frac{k!}{m!(k-m)!}.$$

Ved annen gangs søk vet vi at antall objekter er redusert med antallet n_1 , men sannsynligheten for å finne et gitt objekt er den samme som før. Sannsynligheten for å finne x objekter blir da

$$P_2(x) = \binom{N-n_1}{x} p^x (1-p)^{N-n_1-x}.$$

Ved tredje gangs søk er antallet redusert med ytterligere n_2 og sannsynligheten blir lik

$$P_3(x) = \binom{N-n_1-n_2}{x} p^x (1-p)^{N-n_1-n_2-x}.$$

På samme vis blir sannsynligheten etter k -te gangs søk

$$P_k(x) = \binom{N - \sum_{i=1}^{k-1} n_i}{x} p^x (1-p)^{N - \sum_{i=1}^{k-1} n_i - x}.$$

Disse sannsynlighetsfordelingene har en forventningsverdi på henholdsvis

$$\begin{aligned}
E_1(x) &= Np \\
E_2(x) &= (N - n_1)p \\
&\dots \\
E_k(x) &= \left(N - \sum_{i=1}^{k-1} n_i \right) p.
\end{aligned}$$

De fire fordelingene ovenfor gir oss fire likninger med to ukjente, men ettersom dette er stokastiske størrelser kan vi ikke forvente et eksakt svar. Vi kan imidlertid finne den kombinasjon av N og p som er den mest sannsynlige. Dette kan gjøres ved den såkalte minste kvadraters metode. Vi forlanger at

summen av kvadratene av de relative avvikene mellom forventet antall funn og de aktuelle antall funn skal være minst mulig.

Matematisk kan dette formuleres som

$$\frac{d}{dp} \frac{d}{dN} \sum_{i=1}^k \left(\frac{n_i}{E_i(x)} - 1 \right)^2 = 0.$$

Dette uttrykket kan enklest løses ved hjelp av et regneark hvor man lager tabeller som regner ut summen i likningen over for forskjellige verdier av N og p . Den kombinasjon av N og p som gjør summen minst vil da være den kombinasjon som er mest sannsynlig.

For de områdene som er gjennomført kun to ganger, vil man fremdeles ha to ukjente, N og p , men man vil ha bare to fordelingsfunksjoner, dvs. to ukjente og to likninger. Løsningen av et slikt system vil da oppfylle kravet

$$\sum_{i=1}^2 \left(\frac{n_i}{E_i(x)} - 1 \right)^2 = 0.$$

Selv om man her får en “eksakt” løsning, så er heller ikke her svaret eksakt fordi N og n_i er stokastiske størrelser. Man kan imidlertid bruke samme løsningsmetodikk som for tre og fire søk, dvs. å benytte regneark.

I denne analysen vil man da finne funnsannsynligheten ved annen gangs søk, og ved tredje og fjerde gangs søk. Disse tre sannsynlighetene skal, ideelt sett, være de samme, men beregningen vil gi tre ulike resultater. Det må derfor foretas en vektning av resultatene. Dette kan gjøres ved å vekte funnsannsynligheten med hensyn på hvor mange funn som er gjort i de ulike områdene.

4.4 Beregning av sannsynlig antall gjenværende objekter

Metoden som ble skissert i forrige avsnitt ga oss en verdi for funnsannsynligheten p , men samtidig også et tall for det totale antall objekter N . Vi kjenner antall funn gjort i området slik at differensen mellom N og antall funn kan betraktes som sannsynlig antall gjenværende objekter.

I likhet med foregående avsnitt kaller vi nå antall objekter i området for N , sannsynligheten for å finne et gitt objekt er p , og antall funn som er gjort er n . Antall gjenværende objekter g i området kan da uttrykkes som

$$g = N - n .$$

I tillegg har vi at

$$g = N(1 - p)$$

som, når vi eliminerer N , som er ukjent, gir

$$g = n \frac{1 - p}{p}$$

I den delen som er gjennomført én gang vil sannsynligheten for at et gitt objekt ikke er funnet være $\bar{p}_1 = 1 - p$; i den delen som er gjennomført to ganger vil den være $\bar{p}_2 = (1 - p)^2$; og følgelig i den delen som er søkt k ganger, $\bar{p}_k = (1 - p)^k$. Da vil antallet gjenværende objekter i de fire områdene til sammen være

$$g = \sum_{i=1}^k n_i \frac{\bar{p}_i}{1 - \bar{p}_i}$$

eller uttrykt med p

$$g = \sum_{i=1}^k n_i \frac{(1 - p)^i}{1 - (1 - p)^i} .$$

Når vi skal beregne antall gjenværende objekter i en viss rute, må vi se på antall funn i ruta, og ved hvilken gangs søk de ble gjort. Dersom hele ruta er søkt samme antall ganger kan vi bruke uttrykkene ovenfor. Men dersom en del av ruta er søkt 3 ganger og en annen del er søkt 2 ganger blir det mer komplisert ved at man må betrakte de to delene separat.

4.5 Områder uten tidligere funn

Det vil alltid være noen ruter hvor det ikke er gjort noen funn, dvs. størrelsen n i uttrykkene ovenfor er lik null. Da blir også antall gjenværende objekter lik null.

Det at det ikke er gjort noen funn vil selvsagt ikke bety at det ikke kan ligge noe igjen. Dersom det kun er søkt én gang er det en betydelig sannsynlighet for at en eller to objekter kan ligge

igjen. Dersom det er søkt to ganger er sannsynligheten mye lavere og etter mer enn to søk blir sannsynligheten helt ubetydelig

Dersom man har søkt i en rute én gang uten resultat vil sannsynligheten for at det finnes ett objekt være

$$P(1 | 0 \text{ funn}) = 1 - p_1,$$

og sannsynligheten for at det finnes N objekter der vil være

$$P(N | 0 \text{ funn}) = \prod_{i=1}^N (1 - p_i).$$

4.6 Framskrivning av resultatene til kampanjens avslutning

Nå som arbeidet er avsluttet er det ikke lenger noe poeng å gjøre en framskrivning av resultatene fra kommende søk. Vi vil imidlertid beskrive metoden i grove trekk.

For å framskrive resultatet av letingen fram til arbeidets avslutning, må vi gjøre en del antakelser om hvordan arbeidet vil foregå:

- Omfanget av ryddingen forblir det samme som i de foregående sesonger; dvs. det gås manngard over et område på 30 – 50 km² per år.
- Alle områder gjennomføres minst 2 ganger. (Et fornuftig unntak kan være det høytliggende Flathøi helt vest i feltet, som er vanskelig tilgjengelig og hvor det er gjort få funn.)
- Deteksjonssannsynligheten forblir den samme som er lagt til grunn i letingen til nå.
- Valg av leteområder er basert på forutsatte prinsipper at man foretar søk i de 250 dekar rutene hvor det er størst mulighet for å gjøre funn.

Beregningen foregår ved at man for hvert år simulerer letingen ved at det foretas leting i bestemte områder, at det gjøres et visst antall funn basert på sannsynlig antall gjenværende objekter i leteområdet.

4.7 Kommentar til den statistiske modellen

I all statistikk opererer man med usikkerheter. Usikkerheten kan ha sitt grunnlag i at målte verdier har en viss unøyaktighet, eller, som i vårt tilfelle, at grunnlaget er en lang rekke av hendelser med et binært utfall. Med det menes at et medlem av en manngard passerer forbi et objekt så er det to utfall av en slik hendelse; objektet blir oppdaget, eller det blir ikke oppdaget.

Vår statistikk bygger på flere tusen slike hendelser, slik at vi står igjen med en ganske robust statistikk. En heldig faktor i vårt tilfelle er at det åpenbart er større sannsynlighet for at et objekt blir sett, enn for at det ikke blir det. Hvis det, i motsatt fall, var en lav funnsannsynlighet, f.eks. 20% eller mindre, ville antall funn fra hvert søk bli lavt, og man kunne oppleve store variasjoner mellom antall funn, som at antall funn i ett søk var mindre enn i et etterfølgende søk i samme område. I et slikt tilfelle ville vår modell ha brutt sammen ved at likningene ikke ga noen fornuftig løsning.

Når vi beregner antall gjenværende objekter i feltet som helhet, vil resultatet ha en akseptabel usikkerhet. Når vi finner at antall gjenværende objekter etter en sesong er ca. 250, kan vi være ganske sikre på at det sanne antallet ligger et sted mellom 200 og 300. Når vi beregner antall gjenværende i en rute blir den relative usikkerheten langt større. Dersom vi i en rute beregner at det er 2 gjenværende objekter så betyr det at:

- 2 objekter er det mest sannsynlige antallet som ligger igjen
- det utelukker ikke at det kan være 5 eller 7 objekter igjen. Ingen gjenværende objekter kan også være en ganske sannsynlig tilstand
- det blir derfor feil om man, etter å ha funnet 2 objekter, avslutter søket i den tro at det nå ikke er mer å finne.
- ettersom det statistiske grunnlaget har endret seg fra år til år kan man også erfare at det etter en sesong sannsynligvis er 2 igjen i en rute, men at det etter neste sesong er 3, til tross for at man i mellomtiden har funnet et objekt.

4.8 Kritikkk av metoden

Den metoden som er presentert ovenfor er en ad hoc metode og det er ikke funnet noen internasjonale publikasjoner som bygger på en slik metode. Heller ikke er det funnet andre statistiske metoder som tar for seg det statistiske problemet vi står overfor.

Hovedinnvendingen mot metoden kan være antagelsen av at funnsannsynligheten i hele det området, som har vært gjenstand for et visst antall søk, er den samme i alle søk.

Det er naturlig å se for seg at funnsannsynligheten for et tilfeldig objekt er ganske høy i første søk fordi man da vil finne de objektene som er mest åpenbare. Dermed skulle man tro at de største objektene, f.eks. artillerigranater skulle bli funnet i de første søkene, mens mindre objekter, f.eks. 40 mm luftvernammunisjon, kunne bli funnet etter flere gangers søk. Statistisk er det visse holdepunkter for å hevde så er tilfelle. Dessuten ser man, når man forutsetter at funnsannsynligheten kun er avhengig av hvor mange ganger det er søkt og ikke hvilken gang det søkes, at funnsannsynligheten er større i søk nr. 2 enn f.eks. i søk nr. 5. Dette indikerer at funnsannsynligheten avtar for hvert søk.

Erfaringsmessig vil de første søkene i et område foregå med lavere hastighet enn de etterfølgende fordi manngarden ofte må stoppe på grunn av mange funn; ikke bare av blindgjengere, men også fordi man finner mye annet skrot som må fjernes. Dette kan også ha bidratt til høy funnsannsynlighet ved de første søkene.

5 Gjenværende objekter

5.1 Funnsannsynlighet

Resultatene etter 2021-sesongen, med de metodene som er omtalt i kapittel 4 blir som følger.

- Eksempelvis, i de områdene hvor det er gjort 3 søk er sannsynligheten 70% og det er sannsynligvis 108 objekter igjen. Tilsvarende i de områdene som er søkt flere eller færre antall ganger.
- Som nevnt bidrar de områdene som er søkt kun én gang ikke til analysen. Imidlertid ser man en synkende trend av funnsannsynlighet med antall ganger søkt. Dette er ganske trolig en effekt av at de mest synlige objektene blir funnet tidlig. Funnsannsynligheten for det området som kun er søkt én gang er derfor bestemt ved ekstrapolasjon.

Tabell 5.1 oppsummerer resultatene.

Tabell 5.1 Primære resultater fra analysen.

Antall ganger søkt	Antall funn	Funnsannsynlighet	Forventet antall objekter	Antall gjenværende
1	74	89%	81	7
2	185	77%	195	10
3	641	70%	659	18
4	910	59%	938	28
5	701	52%	714	13
6	365	48%	375	10
7	185	48%	189	4
8	219	46%	227	8
Sum	3280		3378	98

5.2 Helhetlig vs. rutevis betraktning

Tabell 5.1 viser resultatene fra en helhetlig betraktning, dvs. vi betrakter de områdene som er søkt et visst antall ganger under ett. En av svakhetene ved denne modellen er at man ikke er i stand til å forutsi funn i områder hvor det ikke er gjort noen søk. På den annen side kan en slik betraktning gi et estimat av antall gjenværende objekter i områder som er søkt, men hvor det ikke er gjort noen funn.

I en rutevis betraktning kan vi bruke resultatene for funnsannsynligheten fra den helhetlige analysen til å finne gjenværende antall objekter i hver enkelt rute. Med denne metoden kan man gjøre estimater av antall gjenværende objekter i områder hvor det ikke er gjort noen søk, forutsatt at det er gjort funn andre steder i samme rute. Denne metoden kan imidlertid ikke gjøre estimater i ruter hvor det ikke er gjort funn, selv om det er gjort flere søk i ruta.

Disse to metodene kan gi ganske ulike resultater. Dette er vist nedenfor.

Tabell 5.2 Resultater rutevis betraktning sammenlignet med helhetlig betraktning.

Antall ganger søkt	Helhetlig betraktning	Rutevis betraktning
0	0	11
1	7	8
2	10	11
3	18	11
4	28	6
5	13	2
6	10	1
7	4	0
8	8	0
Sum	98	50

Den rutevise betraktningen er mer usikker fordi tallgrunlaget i de enkelte rutene kan være ganske lite. I tillegg blir estimatet i ruter hvor en del av arealet ikke er gjennomført spesielt usikkert. Dette blir spesielt vanskelig i noen få ruter nord-vest i felt ved foten av Flathøe. Her er

det gjort mange funn, og det siste året ble mange funn gjort i områder som ikke var søkt tidligere. Topografien i dette området tilsier at objekter kan være ganske ujevnt fordelt. Det estimerte antallet på 11 i disse uberørte områdene er derfor delvis basert på skjønn.

Det er grunn til å tro at det riktige tallet for antall gjenværende objekter ligger et sted mellom den helhetlige og rutevise betraktningen, men nærmere den første enn den siste. 90 gjenværende objekter kan være et rimelig estimat.

5.3 Hvor er de gjenværende objektene?

Vi bruker metoden skissert i kapittel 4 til å finne det sannsynlige antall gjenværende objekter i hver rute. Dette er vist i figur 5.1.

	11o	12v	12o	13v	13o	14v	14o	15v	15o	16v	16o	17v	17o	18v	18o	19v	19o	20v	20o	21v	21o	22v	22o	23v	23o	24v	24o	25v	25o	26v	26o	27v	27o	28v	
07n	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
07s	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
06n	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
06s	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
05n	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
05s	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
04n	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.9	1.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	
04s	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.5	0.1	0.0	0.1	0.0	0.3	0.1	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
03n	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	5.7	1.6	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
03s	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	
02n	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	
02s	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
01n	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.4	0.1	0.5	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
01s	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	
00n	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.3	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	1.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	
00s	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
99n	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.6	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
99s	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.4	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
98n	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.6	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
98s	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	
97n	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
97s	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
96n	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
96s	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
95n	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Figur 5.1 Sannsynlig antall gjenværende objekter i hver rute.

I figuren er de rutene med høyest antall gjenværende objekter markert med røde tall.

De lavere tallene kan, noe forenklet, tolkes som en sannsynlighet for at det finnes et objekt i ruta. Eksempelvis kan 0,2 indikere at det er rundt 20% sannsynlighet for at det er noe igjen.

Her er det verdt å merke seg at de rutene med røde tall stort sett ligger i svært brattlendt terreng. Dette betyr at en betydelig andel av de gjenværende objektene ligger i områder som er forholdsvis utilgjengelig for vanlige turgåere.

6 Prognoser

Ettersom leting etter farlige objekter er avsluttet, er det hensiktsløst å gjøre prognoser. Dette kapittelet er kun en kort beskrivelse av hvordan en slik prognose kan utarbeides.

En slik prognose er kun en forlengelse av de anbefalinger man har gitt med hensyn til hvor man skal søke neste sesong. Man modellerer neste sesongs rydding under forutsetning at ryddingen blir gjort i de anbefalte områdene. Man har dermed et sannsynlig tall for hvor mange funn som blir gjort, hvor de blir gjort og under hvilken gangs søk de blir gjort. Man får dermed en fiktiv, men sannsynlig database over alle funn gjort ved utløpet av neste sesong.

Deretter danner denne fiktive databasen grunnlaget for en ny iterasjon. Dette gjentas inntil man når slutten av 2021-sesongen hvor man står igjen med et antall gjenværende objekter som vil bli liggende igjen i feltet etter at det har blitt en del av nasjonalparken.

En slik analyse vil selvsagt være preget av usikkerhet; en usikkerhet som blir større dess lenger inn i framtiden den går. Det er flere årsaker til det:

- Antall funn i de angitte rutene ble enten flere eller færre enn det man hadde predikert
- Arealet som ble gjennom søkt var større eller mindre enn antatt
- Av helt rasjonelle grunner ble det ikke søkt i alle de områder som var anbefalt
- Oppdaterte resultater ga grunnlag for å endre funnsannsynlighetene i områder hvor et gitt antall funn var gjort

De første prognosene i 2016 antydte at antall gjenværende objekter vil ligge rundt 30 – 40. Dette tallet har i noen grad økt, av de årsakene som er nevnt ovenfor, til et noe høyere tall.

7 Restrisiko

7.1 Kvantifisering av risiko

Vi vil her ta utgangspunkt i at det i skytefeltet vil ligge igjen 50 objekter som kan være synlige for en turgåer. Selv om dette utgjør en viss risiko for brukerne av feltet, kan man med en viss rett hevde at å avslutte letingen som planlagt i 2020/21 er det rette tidspunktet for å avslutte. I en eventuell etterfølgende sesong hvor rundt 2500 dagsverk ble brukt til å finne kanskje 25 objekter, dvs. ca. 100 dagsverk per funn, kunne vært ganske frustrerende for letemannskapene. Man kan også stille spørsmål om hvorvidt en slik innsats ville vært samfunnsøkonomisk forsvarlig i lys av den restrisikoen som er tilstede.

Dersom de 50 gjenværende objektene var jevnt fordelt i feltet ville det i gjennomsnitt være 1650 m mellom hvert objekt.

Vi kan tenke oss en fotturist som går en tur på 50 km i feltet, som er en ganske drøy tur. Vi forutsetter også at all vandring foregår utenfor eventuelle veier og oppgatte stier, og at den ellers finner sted hvor som helst i feltet. Sannsynligheten for at fotturisten, under en slik tur, passerer nærmere enn 1 m fra et objekt vil være 3,7%. Det betyr også at turisten går 1370 km (en strekning som tilsvarer avstanden Oslo – Narvik) mellom hver gang turisten kommer så nær et objekt. Det å passere innenfor 1 m fra et objekt utgjør ingen fare med mindre man kommer i berøring med objektet.

Fotturisten kan, i likhet med letemannskapet, oppdage objektet. Som vi har sett har letemannskapet en deteksjonssannsynlighet på rundt 70%. Fotturisten vil ikke primært ha fokuset rettet mot marken omkring seg og vil derfor ha en langt lavere deteksjonssannsynlighet. Det er først når turisten passerer på kort avstand, oppdager objektet, tar det opp og eventuelt begynner å tukle med det, at fare oppstår. Det er imidlertid ikke mulig å kvantifisere sannsynligheten for at en slik sekvens av hendelser skal finne.

Dersom vi antar at skrittlengden er 80 cm og det effektive **fotavtrykket** er 25 x 40 cm (skosålen pluss en typisk radius for et objekt) vil det være 0,23% sannsynlighet for å tråkke på et objekt i løpet av turen. Det vil dermed være rundt 21800 km mellom hver gang dette skjer. Dette er omtrent like langt som å gå fra Hjerkins til Beijing og tilbake.

Vi ser imidlertid fra studiet av moskus og blindgjengere [3] at disse dyrene må ha tråkket på slike blindgjengere flere tusen ganger, uten at det kan dokumenteres at en moskus noensinne har blitt drept eller skadet av en blindgjenger¹. Da må man også gå ut fra at et menneske, som har lavere marktrykk, har en sannsynlighet på mindre enn 0,01% for å utløse en blindgjenger ved

¹ Det verserer et rykte om at noen har sett en moskus blitt drept av en blindgjenger. Dette er imidlertid ikke dokumentert; heller ikke at det skal være funnet levninger fra en slik hendelse.

tråkk. Dermed må risikoen ved å utløse et objekt i løpet av en 50 km fottur, være av størrelsesorden 0,00002% eller mindre.

En annen indikator, men ikke like god, er den strekningen letemannskapene har gått. Dersom man antar at de i manngarden går med 2 meters mellomrom vil det bety at for hver kvadratkilometer som avsøkes vil medlemmene i manngarden ha gått tilsammen 500 km. Til sammen er det avsøkt over 500 km² når man tar hensyn til at det meste er avsøkt flere ganger. Til sammen er det derfor gått over 250 000 km. Dette har skjedd i et område hvor tettheten av objekter har vært adskillig større enn det den er nå. Det må derfor ha blitt tråkket på en blindgjenger flere titalls ganger. Ingen ulykker har inntruffet.

7.2 Akseptabel risiko

Et tilbakevendende spørsmål ved all risikoanalyse er hva som kan eller bør tolereres av risiko. Dette er et komplisert spørsmål som ikke har noe klart svar. Imidlertid vil en ulykke aldri være akseptabel selv om den er et resultat av en virksomhet som opererer innenfor en akseptabel risiko.

Sett fra enkeltindividets synspunkt vil den risiko man vil ta avhenge av hva man får igjen for handlingen. F.eks. vil en basehopper akseptere en høy risiko, men til gjengjeld får han en spennende opplevelse. Å ta en risiko som ikke medfører noen form for belønning, og som endatil er pålagt, vil de fleste mennesker prøve å unngå.

Sett fra samfunnets synspunkt vil det være en balanse mellom risiko og nytte. Man tolererer en viss risiko innenfor transport og industri og i primærnæringene. Imidlertid vil det være mindre toleranse overfor ulykker i forbindelse med rekreasjon og fritid, forutsatt at offeret ikke kan klandres for å ha tatt noen urimelig høy risiko, eller ikke vært klar over risikoen. En ulykke som skyldes omsetning av en blindgjenger fra et skytefelt vil trolig bli møtt med stor grad av aversjon fra samfunnet.

Akseptabel risiko vil vanligvis ligge på minimum 1% av årlig normal risiko. Med normal risiko mener man sannsynligheten for å dø i løpet av ett år, hvilket for folk i arbeidsfør alder ligger på rundt 10⁻⁴ per år. Vi ser da bort fra risiko for sykdomsrelatert død. En risiko på 1% av dette, dvs. 10⁻⁶, vil derfor i svært liten grad bidra til å forkorte den forventede levealder og vil derfor oppfattes som akseptabel.

Det er flere arbeider som prøver å kvantifisere disse forholdene. I en artikkel av Jonkman et al. [4] foreslår man å utrykke akseptabel risiko som

$$Risiko < \beta \cdot 10^{-4} \text{ (per år)},$$

Hvor koeffisienten β er en slags frivillighetsparameter som kan graderes etter følgende skjema:

Tabell 7.1 Eksempler på β -koeffisienten i definisjonen av akseptable risiko.

Type aktivitet	Intervall for β	Eksempel
Frivillig aktivitet	10 - 100	Fjellvandring
Aktivitet med god selvkontroll	1 - 10	Bilkjøring (sjåfør)
Aktivitet med lav selvkontroll	0,1 - 1	Transport (passasjer)
Ufrivillig/pålagt aktivitet	0,01 – 0,1	Fabrikkarbeid

I β -koeffisienten ligger også et element av belønning. Frivillig aktivitet gir som regel høy belønning i form av naturopplevelse, lystfølelse eller andre hormonelle reaksjoner, mens ufrivillig gir lav belønning (annet enn penger) og er ulystbetont.

Å gå fottur på Hjerkinns kan trygt karakteriseres som frivillig aktivitet, dvs. at β er lik 10 eller større. Det betyr at en årlig risiko på 10^{-3} kan være akseptabelt. For at et såpass høyt risikonivå skal være akseptabelt, må det forutsettes at de som utsettes for risikoen er bevisst på den.

Når vi betrakter den kollektive risikoen, eller risikoen sett fra samfunnets side, kommer en annen faktor inn i bildet. Dette er den såkalte aversjonsfaktoren som tar hensyn til folks avsky mot ulykker med stort antall drepte. Vanligvis, f.eks. i [5], antar man at aversjonen øker som kvadratet av antall drepte per ulykke. Dette forholdet kan vi se bort fra i vårt tilfelle fordi en ulykke som involverer flere drepte eller skadde er lite sannsynlig i Hjerkinns skytefelt. På den annen side skal man ikke se bort fra at en ulykke som skyldes en blindgjenger kan vekke mer avsky enn f.eks. en ulykke som følge av et steinsprang, fordi blindgjengeren har sitt opphav i menneskelig aktivitet og ikke naturens luner.

Man kan sammenligne risikoen forbundet med å vandre på Hjerkinns med andre farer man blir utsatt for i dagliglivet.

Et nærliggende eksempel er trafikkulykker. 2019 var et godt år i så måte. Ifølge SSB var det 108 trafikkdrepte. Av disse var 72 i personbil, de øvrige var motorsyklister, syklistene og fotgjengere. Det er 2,8 millioner personbiler i Norge. Disse kjører til sammen 35,5 milliarder kilometer som betyr at det var 500 millioner km mellom hver dødsulykke. Korteste vei for strekningen Hjerkinns – Oslo er ca. 340 km. Risikoen ved å kjøre denne strekningen kan dermed fastsettes til $7 \cdot 10^{-7}$. Dette kan vi sammenligne med risikoen for å utløse en blindgjenger i løpet av en fottur på 50 km som vi fant var mindre enn $2 \cdot 10^{-7}$, dvs. 3,5 ganger mindre til tross for at fotturen tar 5 ganger lenger tid enn bilturen.

Det kan også være på sin plass å minne den som leser dette at vedkommende har en årlig sannsynlighet for å dø som ligger rundt 1,2%. Riktig nok varierer denne sannsynligheten med alderen, men det tilsvarer en risiko for gjennomsnittsnordmannen på $3,2 \cdot 10^{-5}$ per døgn.

7.3 Kollektiv risiko

Den individuelle risikoen med å ferdes på Hjerkins er lav, og den er lavere enn de farer man eksponeres for i dagliglivet.

Å ferdes i den norske trafikken innebærer en lav risiko; en risiko de fleste av oss aksepterer. Den kollektive risikoen, som er sannsynligheten for dødsfall i en hel befolkning, er imidlertid absolutt til stede. I trafikken er det et dødsfall per 50 000 innbygger per år. Dette er en akseptert risiko fordi det ses på som en nødvendighet for at samfunnet skal fungere. På Hjerkins vil det også være en kollektiv risiko som vil være avhengig av hvor mye feltet vil bli brukt og hvordan det blir brukt. Vi har vist ovenfor at risikoen av å gå i feltet er mindre enn det å kjøre langs offentlig vei.

Vi kan imidlertid ikke utelukke at en ulykke forårsaket av en blindgjenger kan skje. Problemet er at det er svært vanskelig å tallfeste denne risikoen. Vi vet ikke i hvilken grad feltet vil bli brukt og i hvilken grad turisten vil følge oppgatte stier. Ovenfor har vi klart å sette en øvre grense på hvor stor den individuelle risikoen er, men ikke hvor lav den reelt sett er. Dersom, denne øvre grensen legges til grunn, og 100 mennesker går 10 km hver 100 dager per år vil et trakk på en blindgjenger kunne skje ca. 5 ganger per år. Som indikert ovenfor er sannsynligheten for at dette skal forårsake en ulykke liten. Det vil derfor gå mange år mellom hver gang det skjer en ulykke, men vi vet altså ikke hvor liten den sannsynligheten er.

8 Konklusjon

Leting og fjerning av blindgjengere i Hjerkinnskytefelt har pågått i 15 år. Nesten 4000 blindgjengere er fjernet og flere tusen dagsverk er lagt igjen. Vi kan med god sikkerhet hevde at minst 97% av objektene i overflaten er fjernet, men at noen titalls fremdeles ligger igjen. Mange av disse ligger trolig i ganske utilgjengelige områder; områder som sjelden beferdes av fotturister.

Denne konklusjonen er basert på nøye studier av funnstatistikken; hvor funnet ble gjort, når det ble gjort og den forutgående leteaktiviteten på funnstedet. Slike data har gjort oss i stand til å kvantifisere kvaliteten i letingen, å anslå hvor mange objekter som ligger igjen i det aktuelle området, og dermed gi anbefalinger om hvor man bør lete neste sesong. Dette har gjort søkearbeidet mer effektivt og bidratt til at antall gjenværende objekter har blitt så lavt som mulig med de ressurser som har vært tilgjengelige.

Basert på tidligere studier av beitende dyrs aktivitet i området og på mangelen av hendelser knyttet til blindgjengere kan man fastslå at den individuelle risiko forbundet med å bevege seg utenfor oppgatte stier i feltet er svært lav og betydelig lavere enn den risiko de aller fleste utsetter seg for i dagliglivet.

Det er en viss sannsynlighet for at en fotturist vil kunne oppdage en blindgjenger. Fare vil oppstå dersom vedkommende plukker opp, tar med seg eller prøver å manipulere objektet. Det er derfor viktig at de som bruker feltet har kjennskap til tilstedeværelsen av blindgjengere og vet at han/hun skal rapportere funnet til rette myndighet.

Referanser

1. Ove Dullum; Blindgjengerfaren i Hjerkinnskytefelt – en statistisk analyse; FFI-Rapport 2003/10788
2. Ove Dullum; Ryddingen av Hjerkinnskytefelt – en statistisk vurdering; FFI-Rapport 2012/00102
3. Ove Dullum; Ryddingen av Hjerkinnskytefelt – en oppdatert vurdering; FFI-Rapport 2014/01042
4. S. N. Jonkman, P. H. A. J. M. van Gelder, J. K. Vrijling; An overview of quantitative risk measures for loss of life and economic damage; Journal of Hazardous Materials, A99, s1-30, 2003
5. D. A. Carter; The scaled risk integral; proceedings of the 8th International Symposium on Loss Prevention & Safety Promotion in the Process Industries; Antwerp, Elsevier Science, 1995

Om FFI

Forsvarets forskningsinstitutt ble etablert 11. april 1946. Instituttet er organisert som et forvaltningsorgan, med særskilte fullmakter underlagt Forsvarsdepartementet.

FFIs formål

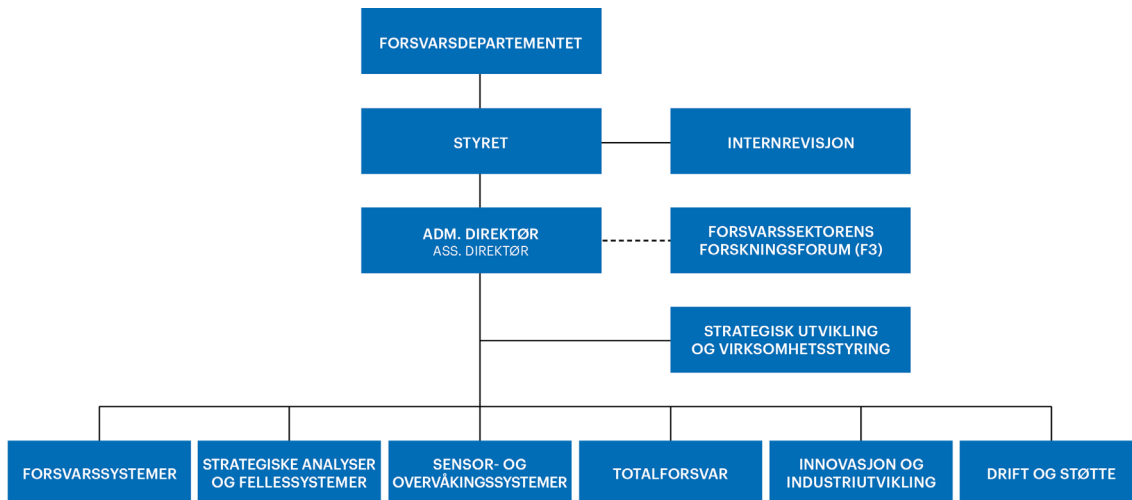
Forsvarets forskningsinstitutt er Forsvarets sentrale forskningsinstitusjon og har som formål å drive forskning og utvikling for Forsvarets behov. Videre er FFI rådgiver overfor Forsvarets strategiske ledelse. Spesielt skal instituttet følge opp trekk ved vitenskapelig og militærteknisk utvikling som kan påvirke forutsetningene for sikkerhetspolitikken eller forsvarsplanleggingen.

FFIs visjon

FFI gjør kunnskap og ideer til et effektivt forsvar.

FFIs verdier

Skapende, drivende, vidsynt og ansvarlig.



Forsvarets forskningsinstitutt
Postboks 25
2027 Kjeller

Besøksadresse:
Instituttveien 20
2007 Kjeller

Telefon: 63 80 70 00
Telefaks: 63 80 71 15
Epost: post@ffi.no

Norwegian Defence Research Establishment (FFI)
P.O. Box 25
NO-2027 Kjeller

Office address:
Instituttveien 20
N-2007 Kjeller

Telephone: +47 63 80 70 00
Telefax: +47 63 80 71 15
Email: post@ffi.no