



FFI-rapport 2013/02786

# Ula-klassens enkeltstråle ekkolodd – strålebredde og posisjonsbestemmelse



Magne Mandt





## **Ula-klassens enkeltstråle ekkolodd – strålebredde og posisjonsbestemmelse**

Magne Mandt

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI)

25. november 2013

FFI-rapport 2013/02786

130501

P: ISBN 978-82-464-2320-3

E: ISBN 978-82-464-2321-0

## **Emneord**

Undervannsbåter - navigasjon

Navigasjonssystemer

Ekkolodd

## **Godkjent av**

Arvid Melkevik

Prosjektleder

Elling Tveit

Avdelingsjef

## Sammendrag

Ula-klassen gjennomgår for tiden en omfattende oppdatering i FLOs prosjekt P6345. Blant systemene som skal skiftes ut er plottebordet og tørrdelen til enkeltstråleekkoloddet.

Anskaffelsene støttes av FFIs prosjekt 1305 ”TEKULA - Støtte til oppdatering av kampsystem Ula-klassen”, som blant annet har undersøkt effekten armer mellom sensorene har for navigasjon. I dette arbeidet ble det klart at strålebredden kunne være et større problem enn plasseringen av ekkoloddet, spesielt siden ekkoloddet kan brukes til posisjonsbestemmelse. Denne rapporten dokumenterer disse resultatene.

Dagens enkeltstråleekkolodd på Ula-klassen har en svært bred stråle, opptil 10 grader langskips og 20 grader tverrskips. Loddet beregner dybde ut fra starten av ekkoet, det vil si korteste avstand til bunn. Loddet brukes både for å ivareta sikkerhet (avstand til bunn) og til posisjonsbestemmelse, ved å sammenligne målte dybder med kartdybder. Denne typen posisjonsbestemmelse kan få problemer fordi loddets målte dybde ikke er tatt rett under skipet, men fra nærmeste punkt i strålens treffområde. Problemene består i at posisjonen kan bli feil, med opp til 175 meter ved maksimum rekkevidde, og at det ikke alltid er mulig å få til et konsistent posisjonsestimat selv om kotene har et mønster som skulle kunne gjenkjennes. Loggede data fra ekkoloddet viser eksempel på begge disse problemtypene.

Det nye navigasjonssystemet på Ula-klassen gir navigatøren mulighet for å sette et standardavvik på denne typen posisjoner, dette standardavviket bør settes slik at det dekker treffområdet for ekkoloddet. Ettersom strålebredden i meter blir mindre jo kortere avstand man måler over, bør man legge mer vekt på grunne målinger enn på dype. På grunn av strålebredden vil ekkoloddet i liten grad kunne brukes i et automatisk terrengkorrelasjonssystem av den typen man har på HUGIN AUVene.

Ula-klassen har også en kartleggingssonar og en mineunngåelsessionar, som begge måler bunndybde med smale stråler. Dersom bunndybde og taktisk situasjon tillater det, bør man bruke en av disse framfor enkeltstråleekkoloddet.

Tørrdelen av ekkoloddet skal skiftes ut. Dersom signalet inn til denne gjør det mulig, kan man vurdere å innføre en funksjon for å få ut gjennomsnittsdybden i stedet for, eller i tillegg til, minste dybde. Dersom det ikke er mulig, kan det være på sin plass å vurdere utskifting av transducerne for å få smalere strålebredde. For begge alternativene må en selvsagt gjøre en kost/nytte vurdering, som også tar hensyn til loddets primæroppgave: Å sørge for at ubåten ikke går utilsiktet i bunn.

## English summary

The Ula class submarines are presently being updated in the Norwegian Defense Logistics Organization's project P64345. The plotting table and the inboard part of the single beam echo sounder are among the systems that are being replaced. FFI supports P6345 through its project 1305. Among other things, this project has investigated the effect of lever arms between the different sensors used for navigation. This work showed that for the echo sounder the beam width could be a larger problem than placement, especially since the echo sounder is used to determine position.

The present single beam echo sounder has a very broad beam, up to 10 degrees alongship and 20 degrees across. The echo sounder uses the start of the echo to compute depth, in other words it measures the shortest distance to the bottom. The echo sounder is used both to ensure a safe distance to the bottom and for finding the submarine's position by comparing measured depths with chart depths. The fact that the bottom depth measurement is from the closest point in the echo sounder footprint, and not from straight underneath the ship, may cause problems when using the measurements for positioning. The problems are that the position may be wrong with as much as 175 meters, and it may not be possible to get a consistent estimate even if the chart contours have a recognizable pattern. Logged data from the echo sounder show examples of both these problems.

In the new Ula class navigation system, the navigator can give these position estimates a standard deviation. This standard deviation should be set large enough to cover the footprint of the echo sounder. As the beam width (in meters) gets smaller with shorter distances, more weight should be placed on shallow measurements than deep ones. Due to the beam width, the single beam echo sounder is not well suited for use in an automatic terrain correlation system of the type that has been introduced on the HUGIN AUVs.

The Ula class is also equipped with a bottom mapping sonar and a mine avoidance sonar, both use narrow beams. If the bottom depths and the tactical situation allow it, one of these could be used instead of the single beam echo sounder.

The inboard part of the echo sounder will be replaced. If the signal into this part makes it possible, one could consider a function to get the average depth instead of, or in addition to, the smallest depth. If this is not possible, one might consider replacing the transducer to get narrower beams. Both alternatives would need a cost/benefit analysis, which must also look at the echo sounder's primary task: To ensure that there is no unintended bottom contact.

## Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Ekkoloddet i navigasjon</b>	<b>7</b>
2.1	Posisjonsbestemmelse	7
<b>3</b>	<b>Effekten av bred stråle</b>	<b>8</b>
3.1	Skrånende bunn	9
3.2	Hauger og rygger	9
3.3	Søkk og daler	10
<b>4</b>	<b>Eksempler</b>	<b>10</b>
4.1	Målinger og kartdybde	10
4.2	Posisjonsbestemmelse	11
4.2.1	Automatisk terrengkorrelasjon	12
<b>5</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>13</b>
	<b>Akronymer og forkortelser</b>	<b>14</b>





## 1 Innledning

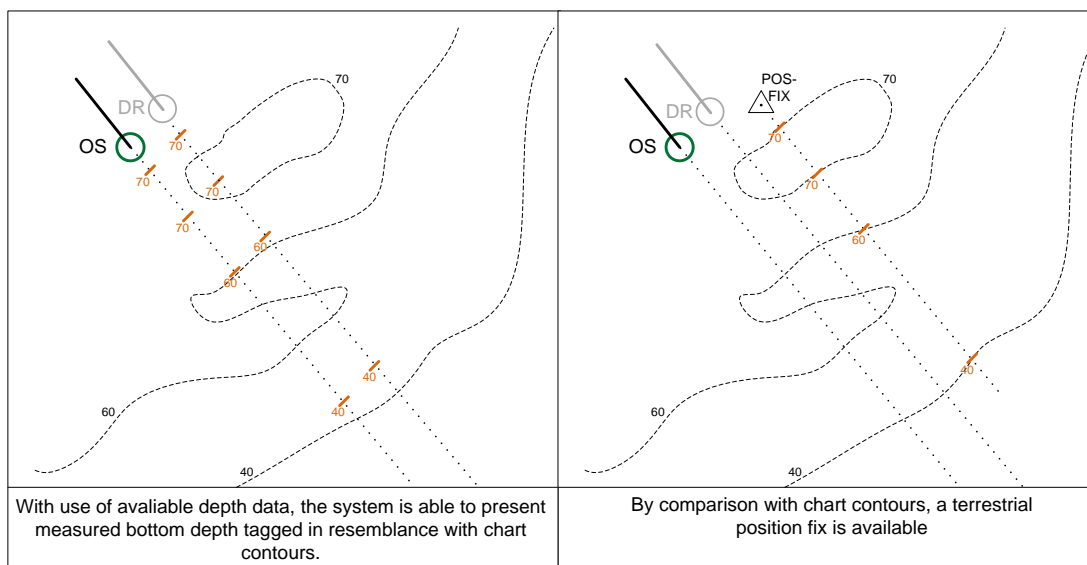
Denne rapporten tar for seg effekten av den store strålebredden på enkeltstråle ekkoloddet på Ula-klassen. Strålebredden er 5 til 10 grader langskips, 12 til 20 grader tverrskips, og loddet har en rekkevidde på 1000 meter. Loddet ble montert da båten ble bygget. Det er planlagt å skifte ut tørrdelen i anskaffelsesprosjektet P6345, mens transducerne er tenkt beholdt. Det blir også anskaffet et nytt navigasjonssystem (WECDIS) i P6345, dette vil motta, vise og bruke målinger fra ekkoloddet. Innføringen av WECDIS støttes av FFI-prosjekt 1305 ”TEKULA - Støtte til oppdatering av kampsystem Ula-klassen”, som blant annet har undersøkt effekten armer mellom sensorene har for navigasjon. I dette arbeidet ble det klart at strålebredden kunne være et større problem enn plasseringen av ekkoloddet, spesielt siden ekkoloddet kan brukes til posisjonsbestemmelse. Denne rapporten dokumenterer disse resultatene.

## 2 Ekkoloddet i navigasjon

Loddets oppgave nr. 1 er å sørge for sikker navigasjon, ved at ubåten unngår bunn. Det innebærer at loddet alltid bruker starten på returpulsene for å måle dybde under kjøll (DBK, Depth Beneath Keel), slik at båten kan holde sikker avstand til bunn. Loddet er imidlertid ikke stabilisert i rull eller pitch, så strålens treffpunkt vil flytte seg med disse vinklene, og senter vil ikke ligge rett under båten, dvs. den følger ikke geografisk ned. Rull vil gi senter av treffområdet (fotavtrykket) til siden for båten midtlinje, pitch vil flytte det fram eller tilbake i forhold til monteringsposisjonen i baugen. Den brede strålen vil imidlertid medføre automatisk kompensasjon av vinkler opp til halve strålebredden på flat bunn.

### 2.1 Posisjonsbestemmelse

Loddet brukes også til å kontrollere og bestemme posisjonen neddykket. Det skjer ved at målt bunndybde (dybde fra trykksensor + dybde fra ekkolodd) sammenlignes med kart. Det har tidligere blitt gjort manuelt mot papirkart, i det nye WECDIS-anlegget blir det mulig å gjøre det manuelt mot elektroniske kart. Posisjonsbestemmelse skjer ved å sammenligne målt dybde med koter i kartet. I WECDIS velger brukeren hvilke dybder som skal vises, fortrinnsvis dybder som har koter i kartet. Etter at dybdene er samlet inn, blir de vist i kartet med fargekoder for de forskjellige dybdene.

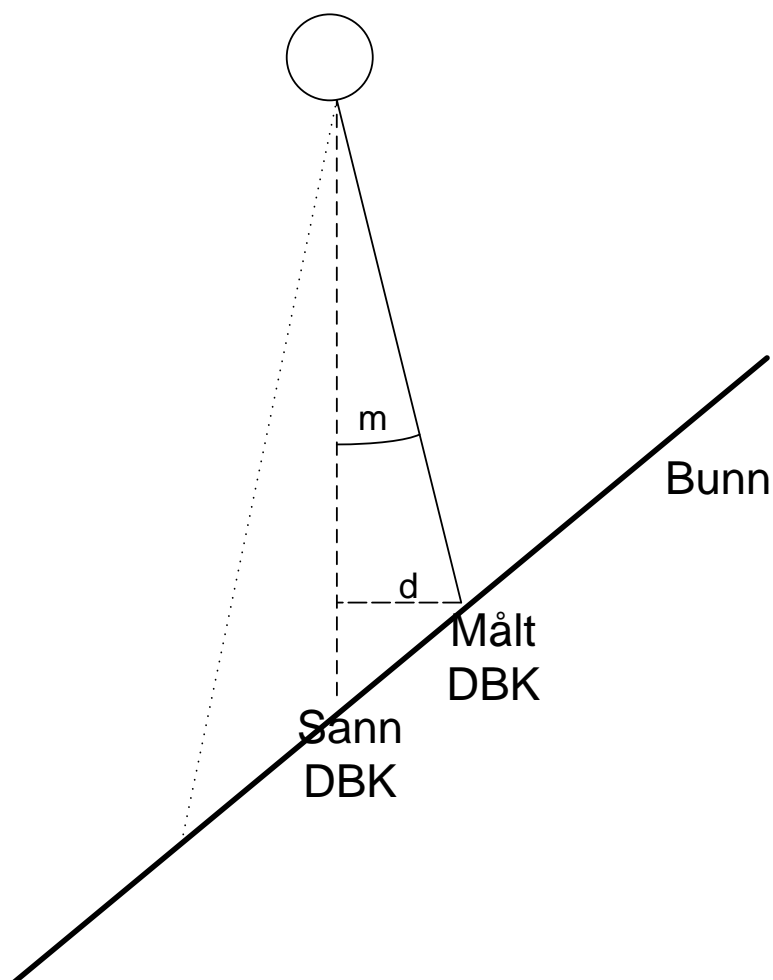


Figur 2.1 Prinsippskisse: Posisjonsbestemmelse ved hjelp av kart og målte bunndybder

De presenterte dybdene er et lag som operatøren kan dra rundt i kartet til de stemmer med kartkotene. Forflytningen av dybdelaget blir da et mål på posisjonsfeilen.

### 3 Effekten av bred stråle

Strålebredden vil ikke spille noen rolle over flat bunn, der vil ekkoet komme fra senter av strålen. Når bunndybden varierer vil effekten derimot kunne bli betydelig. Det er to effekter som kommer inn, vist i Figur 3.1: Bunndybden er mindre i punktet returen kommer fra enn rett under båten, og målingen er avstand langs strålen, og ikke langs vertikalen. Den siste effekten gir at faktisk dybde i treffpunktet er  $\cos$  til målevinkelen ganger målt dybde under kjølen (målevinkelen er vinkelen mellom vertikalen og retningen loddet faktisk målte i, markert som "m" i Figur 3.1). Det betyr at målingen er større enn faktisk dybde i treffpunktet, samtidig som den er mindre enn dybden rett under kjølen. Forflytningen av treffpunktet ("d" i Figur 3.1) er også en funksjon av målevinkelen, den blir  $\sin$  til målevinkelen ganger målingen. Det betyr at forflytningen tverrskips kan komme opp i 175 meter ved maksimum rekkevidde.



Figur 3.1 Prinsippskisse av ekkoloddmåling

### 3.1 Skrånende bunn

Effekten av den brede strålen over jevnt skrånende bunn er avhengig av ubåtens rute i forhold til skråningen. Hvis

- Ubåten går mot dypere vann, så vil
  - ekkoet returneres fra et punkt bak ubåten.
- Ubåten går mot grunnere vann, så vil
  - ekkoet returneres fra et punkt foran ubåten.
- Ubåten går på tvers av skråningen (parallelt med kotene), så vil
  - ekkoet returneres fra et punkt på den grunneste siden av ubåten.

### 3.2 Hauger og rygger

Når ubåten beveger seg over en haug eller en rygg, vil den først gå mot grunnere vann og så mot dypere vann. På vei mot toppen vil den se dybdene før den faktisk er over dem. Den vil så se toppen i riktig posisjon, men bredere enn den er. På vei mot dypere vann igjen vil den se dybdene etter at den har passert dem. I sum betyr det at terrengformen smøres ut og ser bredere ut enn den er.

### 3.3 Søkk og daler

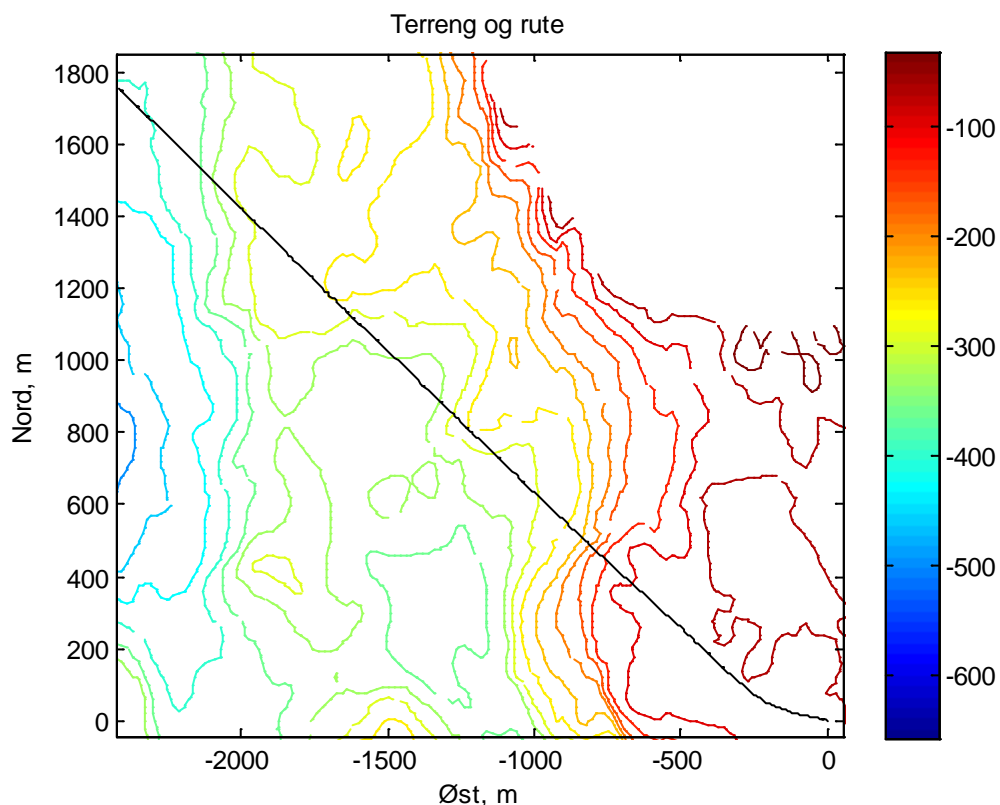
For groper og søkk går ubåten først mot dypere vann og så mot grunnere. Det betyr at formen smales inn. I verste fall, hvis formen er smal nok, vil den miste de dypeste områdene fordi det er kortere avstand til siden for det dypeste området.

## 4 Eksempler

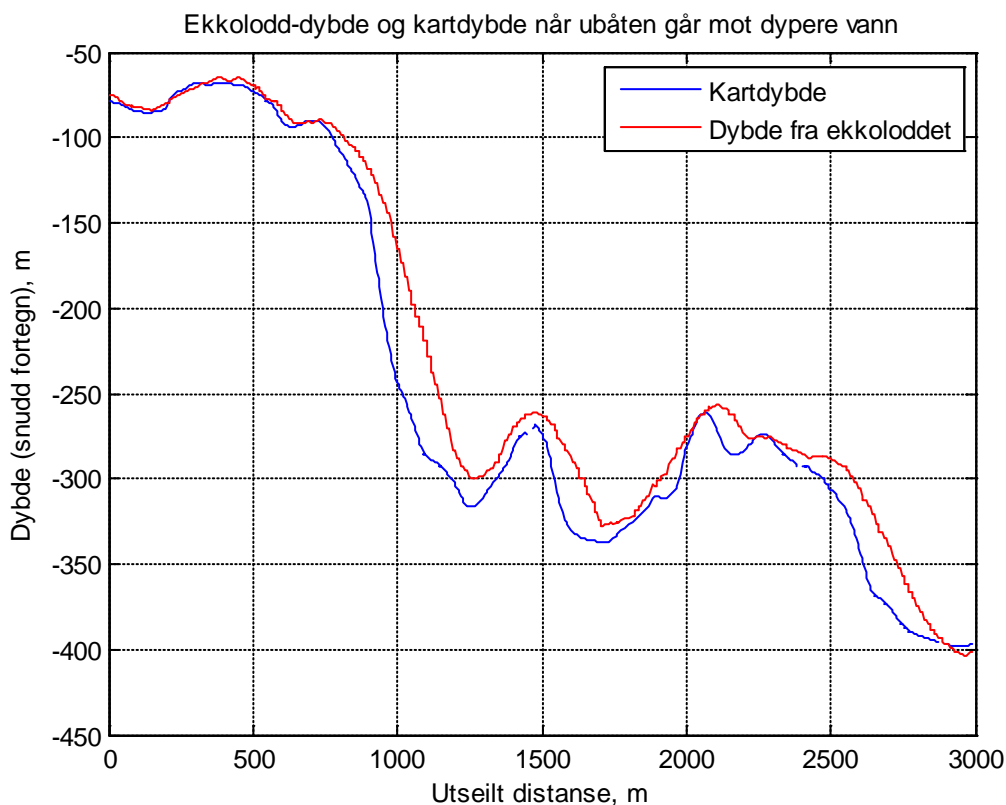
Eksempelene er hentet fra data logget på en Ula-klasse. Dybdemålingens posisjon er beregnet for midtpunktet til strålen, kompensert for rull og pitch. Fartøyets posisjon er fra GPS. Fasitdybdene er fra data hentet inn av FFIs bunnkartleggingsprosjekt, lagt ut i et grid med 20 meters oppløsning. På flat 600 meter dyp bunn viser ekkoloddet ca 5 meter større dyp enn kartet.

### 4.1 Målinger og kartdybde

Ubåten starter over et 50 meter dypt undervannsnæs. Den går så vinkelrett på kotene i ca en kilometer, til bunndybden er rundt 300 meter. Deretter blir terrenget mer uryddig og kupert, med rygger og søkk. I denne perioden har terrenget også varierende dybde i tverrskipsretning, og ubåten passerer ikke over de høyeste delene av ryggene.



Figur 4.1 Terreng og rute

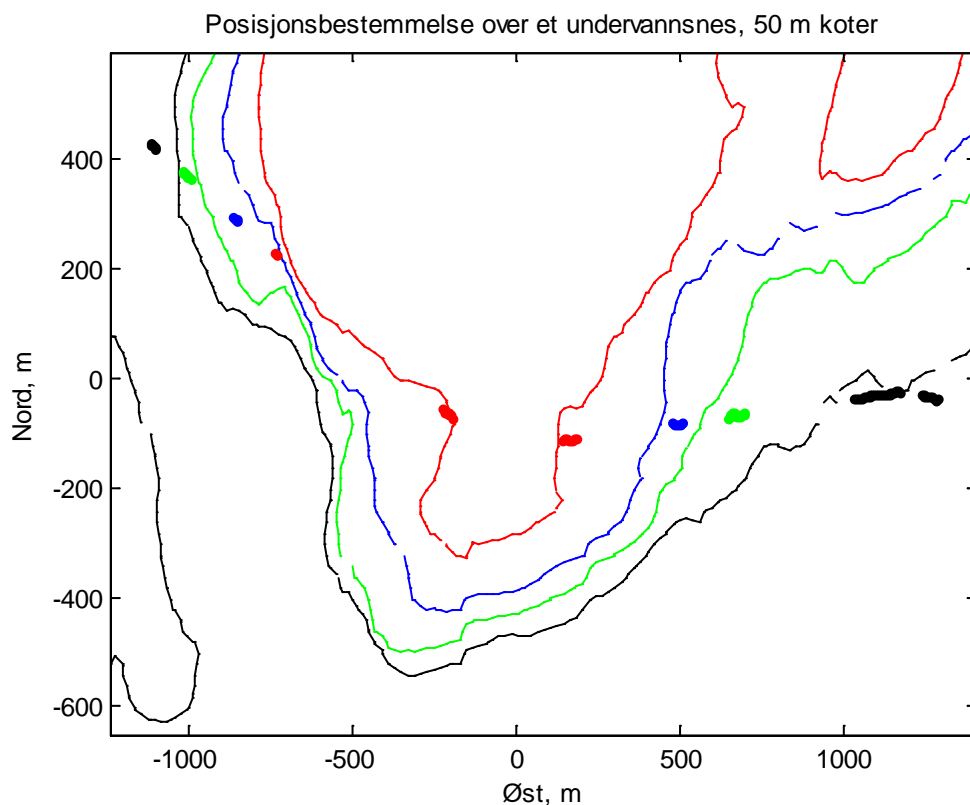


Figur 4.2 Målinger og kart

Sammenligning av målinger og kart viser effektene omtalt i kapittel 3. I perioden fram til 300 meters dyp ligger målingene opp til 80 meter grunnere enn kartdybden. De må trekkes rundt 100 meter akterover for å stemme noenlunde med kartet. Dette er adskillig mer enn kombinasjonen av dybde og langskips strålebredde tilsier, muligens fordi tverrskips variasjon bidrar. I den kupertede delen av terrenget blir forhøyningene bredere og fordypningene smalere enn kartet. Loddet indikerer også grunnere vann på toppene enn kartet, sammenligning med kartet viser at dette ganske sikkert skyldes tverrskips variasjonen i terrenget.

## 4.2 Posisjonsbestemmelse

Det nye systemet for å bestemme posisjon ut fra målt bunndybde er beskrevet i avsnitt 2.1. Man kan se fra Figur 4.2 at det kan få problemer på grunn av den brede strålen. Det kan også være man får målinger som ikke kan gi noen konsistent løsning. Figur 4.3 viser hvordan systemet vil virke ved passasje over et undervannses. Ekkolodd-dybdene er beregnet på samme måte som tidligere. De viste ekkoloddmålingene er for kotedybdene +/- 5 meter, og kartet har 50 meter koter med rødt som grunneste kote.



Figur 4.3 Posisjonsbestemmelse over et nes

Dybden fra ekkoloddet stemmer ganske bra med kartet for den sentrale, flate ryggen på neset (røde punkter i midten), men ute på de bratte kantene gir de inntrykk av at neset er bredere enn det faktisk er. Man ser at ekkoloddmålingene på vestsiden av neset indikerer at posisjonen skal flyttes rundt 100 meter sørøstover, mens ekkoloddmålingene på østsiden av neset indikerer at de skal flyttes 50 – 100 meter vestover. De to sidene indikerer altså omtrent motsatt posisjonsfeil, mens det grunneste området indikerer at posisjonen er bra i utgangspunktet. Generelt bør man stole mest på de grunneste dataene, siden ekkoloddets fotavtrykk øker med dybde, det samme vil effekter av lydshastighetsfeil. I tillegg må man sette et fornuftig standardavvik på posisjonsmålingen, dette kan gjøres manuelt i WECDIS.

#### 4.2.1 Automatisk terrengkorrelasjon

Det blir ikke innført noe automatisk terrengkorrelasjonssystem i forbindelse med oppdateringen av navigasjonssystemet. Et slikt system er imidlertid under innføring på HUGIN AUVene, og bør lett kunne overføres til Ula-klassen. Systemet slik det er i dag vil ikke kunne takle den usikkerheten i treffpunkt som strålebredden medfører på større dyp. Antydningvis vil det ikke kunne bruke målinger fra enkeltstråle ekkoloddet dersom målingen er større enn 50 - 100 meter. Det bør kunne ta målinger fra de andre bunnmålede sensorene uten slike begrensinger. Det bør være mulig å designe algoritmer som kan takle ekkoloddmålingene uten å ofre den høye horisontale oppløsningen som ligger i de kartlagte bunndybden, men det vil kreve utvikling.

## 5 Konklusjon

Både analyse og målinger viser at ekkoloddets store strålebredde kan føre til at man finner feil posisjon når det brukes til posisjonsbestemmelse. Strålebredden kan også føre til at man ikke finner noen løsning som er konsistent med målingene. Dersom dette ekkoloddet skal brukes til posisjonsbestemmelse, er det to forholdsregler brukerne bør ta for å minske effekten for navigasjon. De er a: Legg mest vekt på de grunneste målingene, og b: Sett et standardavvik på posisjonen som er dekkende for strålebredden.

Ula-klassen har også en kartleggingssonar og en mineunngåelsessionar, som begge måler bunndybde med smale stråler. Dersom bunndybde og taktisk situasjon tillater det, bør man bruke en av disse framfor enkeltstråle ekkoloddet.

Tørrdelen av ekkoloddet skal skiftes ut. Dersom signalet inn til denne gjør det mulig, kan man vurdere å innføre en mulighet for å få ut gjennomsnittsdybden i stedet for, eller i tillegg til, minste dybde. Dersom det ikke er mulig, kan det være på sin plass å vurdere utskifting av transducerne for å få smalere strålebredde. For begge alternativene må en selvsagt gjøre en kost/nytte vurdering, og også ta hensyn til loddets primæroppgave: Å sørge for at ubåten ikke går utilsiktet i bunn.

## Akronymer og forkortelser

AUV	Autonomous Underwater Vehicle
DBK	Depth Beneath Keel
FFI	Forsvarets forskningsinstitutt
FLO	Forsvarets logistikkorganisasjon
GPS	Global Positioning System
m	Meter
WECDIS	Warship Electronic Chart Display and Information System