

RAPPORT

13/2015
ISBN 978-82-7492-305-8
ISSN 1890-5226

BAKKEBASERTE RADARMÅLINGER I ETTERKANT AV LEIRSKRED I SØRKJOSEN 10.5.2015



Forfattere: Harald Øverli Eriksen, Tom Rune Lauknes, Heidi Hindberg, Yngvar Larsen

PROSJEKTNAVN: Radarmålinger leirskred i Sørkjosen

Prosjektnr.: 490 Fjellradar

OPPDRAGSGIVER(E): Statens vegvesen Region nord

Oppdragsgivers ref.: Gudmund Løvli

Dokumentnr.: 13/2015

Dokumenttype: Rapport

Status: Åpen

ISBN: **978-82-7492-305-8**

ISSN: **1890-5226**

Ant. Sider: 17

Prosjektleder: Tom Rune Lauknes

Dato: 01.09.2015

FORFATTERE: Harald Øverli Eriksen, Tom Rune Lauknes, Heidi Hindberg, Yngvar Larsen

TITTEL: Bakkebaserte radarmålinger i etterkant av leirskred i Sørkjosen 10.05.2015

Resymé / Summary:

Rapporten oppsummerer resultater fra bakkebaserte radarmålinger utført av Norut i etterkant av leirskredet i Sørkjosen natt til søndag 10. mai 2015. Over et tidsrom på ca 1,5 døgn opererte Norut en bakkebasert radar som målte stabilitet av området berørt av leirskredet. Radaren ble plassert slik at havneområdet og moloen, samt deler av veitraseen (E6) nord for Sørkjosen, ble dekket. I ettertid har det vist seg at denne plasseringen var uheldig, da det har vært store utfordringer med prosessering av data på grunn av radarens plassering nær vannflaten. Dette medfører at radaren er svært sensitiv til endringer i vannstand, noe som introduserer effekter som skalerer med endringer av tidevann. Vi har utarbeidet metodikk for å minimalisere slike effekter i resultatene. I tillegg har det vært noen utfordringer relatert til radarskygge på grunn av båttrafikk i området. Resultater viser at de største bevegelsene er i tilknytning til raskanten som går helt opp til E6 i området der moloen før raset traff land og nord for dette. Det er mindre bevegelser i begrensede områder på moloen og i tilknytning til forbygning innerst i havna. Tidsserier for tre ulike områder langs veitraseen viser en avtagende stabiliserende trend for et av områdene og en mer lineær bevegelsestrend med antydning til akselerasjon mot slutten av måleperioden for to av områdene. Området som beveget seg mest flyttet seg ca. 45 mm mot radaren i løpet av et døgn. Målekampanjen er imidlertid av for kort varighet til å si noe sikkert om hvordan områdene vil utvikle seg i fremtiden. En lengre målekampanje kan si mer om bevegelsesutviklingen i området.

Emneord: Leirskred, Fjernmåling, Bakkebasert radar, Interferometri

Noter:

UTGIVER: Norut, P.O. BOX 6434, N-9294 Tromsø, Norway

Innhold

1	FELTDAGBOK.....	1
2	METODIKK	2
3	OPPSETT OG MÅLEPUNKTER.....	3
4	PROSESSERING.....	5
5	RESULTATER	6
6	DISKUSJON	9
7	KONKLUSJON	12
8	REFERANSER.....	13

Forord

Natt til søndag 10. mai 2015 gikk det et undersjøisk leirskred som omfattet strandsonen og havbunnen i området nordvest for Sørkjosen sentrum. Rasområdet grenser opp til bolighus og E6. Statens vegvesen ønsket derfor å få utført en kampanje med bakkebasert radar for å vurdere stabilitet og pågående setninger i området. Over et tidsrom på ca 1,5 døgn samlet Norut inn bevegelsesdata fra området ved hjelp av et bakkebasert radarsystem (GPRI-Gamma Portable Radar Interferometer). I denne rapporten redegjøres det for måleteknikken, samt valg og antakelser som ble gjort under prosesseringen av data. Videre diskuterer vi akkumulert bevegelseshastighet for måleområdet og utvikling over tid for utvalgte områder.

1 FELTDAGBOK

- 10.05.2015 Transport av radar til fra Tromsø til Sørkjosen.
Kort befaring og oppsett av radar.
Oppstart av målekampanje kl. 23:15 med 5 minutter mellom hver måling.
Avlesning og prosessering av data.
- 12.05.2015 Avslutning av målekampanje kl. 14:10.
Nedrigging og transport til Tromsø.

2 METODIKK

Bakkebasert radar er en aktiv målemetode der et område avbildes ved at energi i form av elektromagnetiske pulser sendes ut og ekko fra terrenget analyseres. Energien reflekteres tilbake til en mottakerantenne, og målingene lagres. Signalene som mottas er relatert til egenskaper ved terrenget, dvs mengde energi som returneres (intensitet) og avstand (fase), og representerer et øyeblikksbilde av terrenget. Ved å gjøre gjentatte målinger kan differensen i fase mellom to tidspunkter bestemmes. Denne fasedifferansen beregnes for alle punkter som er belyst (et slikt differansebilde kalles for et interferogram), og kan omregnes til millimeter forflytning i radarens sikteretning. Ved å gjøre gjentatte målinger vil bevegelsesutvikling i områder av interesse kunne bestemmes. En radar kan operere uavhengig av vær eller lysforhold fordi det er en aktiv sensor som selv "belyser" måleområdet.

Vi benyttet en bakkebasert radar av type Gamma Portable Radar Interferometer (GPRI). Dette radarsystemet består av en senderantenne og to mottakerantenner (Fig. 1). Antennene er plassert på en motor som roterer systemet slik at terrenget blir avbildet. Radaren opererer i frekvensområdet 17,1–17,3 GHz og har en avstandsopløsning på ca 0,75 m. Den romlige oppløsningen i azimuth (vinkel) er avhengig av antennelengde, samt avstand til målet som belyses, dvs ca 4 m på 500 m avstand. Bevegelseshastigheten i hver piksel er et gjennomsnitt av alle objekter som reflekterer energi (spredere) innenfor arealet av pikselen.

Bakkebaserte radarsystemer er svært sensitive til bevegelse i radarens sikteretning ("line-of-sight" LOS). Radaren har null sensitivitet for bevegelse vinkelrett på sikteretningen. I tilfellet ved Sørkjosen har vi derfor svært god følsomhet til horisontal bevegelse. GPRI radaren er i stand til å måle bevegelser helt ned mot noen få mm/dag og opp mot flere m/dag. Presisjonen på målingene er imidlertid avhengig av lengden på målekampanjen. Generelt er det slik at raskere bevegelse krever kortere observasjonstid, da signal-til-støyforholdet er bedre (deformasjonssignalet dominerer i forhold til støykilder slik som f.eks. atmosfære).

3 OPPSETT OG MÅLEPUNKTER

Etter en kort befaring sammen med Øyvind Skeie Hellum fra Statens Vegvesen ble det besluttet å plassere tilhenger med radar og radar på pir utenfor Sørkjosen sentrum (Fig. 2 og Fig. 3). Dette var det beste alternativet med tanke på fri sikt til berørt vegtrase og utsatt bebyggelse. Området som ble kartlagt stikker seg fra Sørkjosen sentrum og ca. 1 km til tunnelinnslaget til E6 Langslett–Sørkjosen tunnelen som er under utarbeidelse.



Fig. 1. Gamma Portable Radar Interferometer (GPRI). Systemet består av en senderantenne og to mottakerantennener som roterer for å belyse et område (Werner et al., 2012).



Fig. 2. Plassering av radar på pir utenfor Sørkjosen sentrum. Gule linje angir ytre begrensing for målekampanje.

4 PROSESSERING

I løpet av måleperioden fra 10.05.2015 kl. 23:15 til 12.05.2015 kl. 14:10 ble det tatt opp 460 målinger med 5 minutters intervall. Ved å parvis kombinere påfølgende avbildninger kan vi generere *interferogrammer* (faseendring), som kan integreres slik at man får total bevegelse gjennom hele måleperioden (Larsen et al., 2005; Lauknes, 2011). All deformasjon er relativ til et valgt referansepunkt som antas å være stabilt.

Ved analyse av deformasjonstidsserier observert vi en sterk korrelasjon mellom vannstand og observert deformasjon (endring i avstand). Dette skyldes såkalt *multi-path* hvor det utsendte signalet både reflekteres fra havoverflaten og fra terrenget. Når vannstanden varierer på grunn av tidevann, varierer også gangveien og dermed ser det ut som terrenget beveger seg. For mange av punktene i terrenget observert vi en periodisk trend med amplitude på ca. 20 mm som var negativt korrelert med observert tidevann (Fig. 4). Denne *multi-path* effekten var spesielt kraftig ved kampanjen i Sørkjosen siden radaren var plassert så nært havoverflaten.

Vi har imidlertid utviklet en metodikk for å minimalisere effekter av tidevann og vannstand. Målingen for et tidspunkt t er erstattet med et glidende middel ("moving average") av verdier i et halvt døgn. Dette vil fjerne signalkomponenter relatert til tidevann, mens for eksempel en lineær deformasjon forblir uendret. Siden tidspunkter bakover og framover i tid ble brukt for å midle ut flo/fjære effekten, må tidspunktene først og sist i tidsserien forkastes for å unngå kanteffekter under filtreringen. Dermed får vi kun resultater for ca. 1,1 døgn (11.05.2015 kl. 05:10 til 12.05.2015 kl. 08:00), mens total målekampanje var 1,6 døgn. Akkumulert bevegelse for 1,1 døgn ble beregnet ved å finne sluttverdien i tidsserien for hvert punkt i terrenget.

Noen av datapunktene i terrenget måtte fjernes da de ble påvirket av forstyrrelser (radarskygge) laget av båtaktivitet i området. Den nordlige delen av dataområdet er også maskert ut fordi antatt bevegelsesretning i området står tilnærmet 90 grader på sikteretningen til radaren, og vi har derfor svært dårlig sensitivitet for bevegelse. Punkter i terrenget som har positive verdier (beveger seg bort fra radar) er antatt å være uønskede effekter og er derfor fjernet. Til slutt ble data median-filtrert for å fjerne støy.



Fig. 3. Radar montert på tilhenger i beskyttende radom. Under operasjon stabiliseres tilhenger med støtteben.

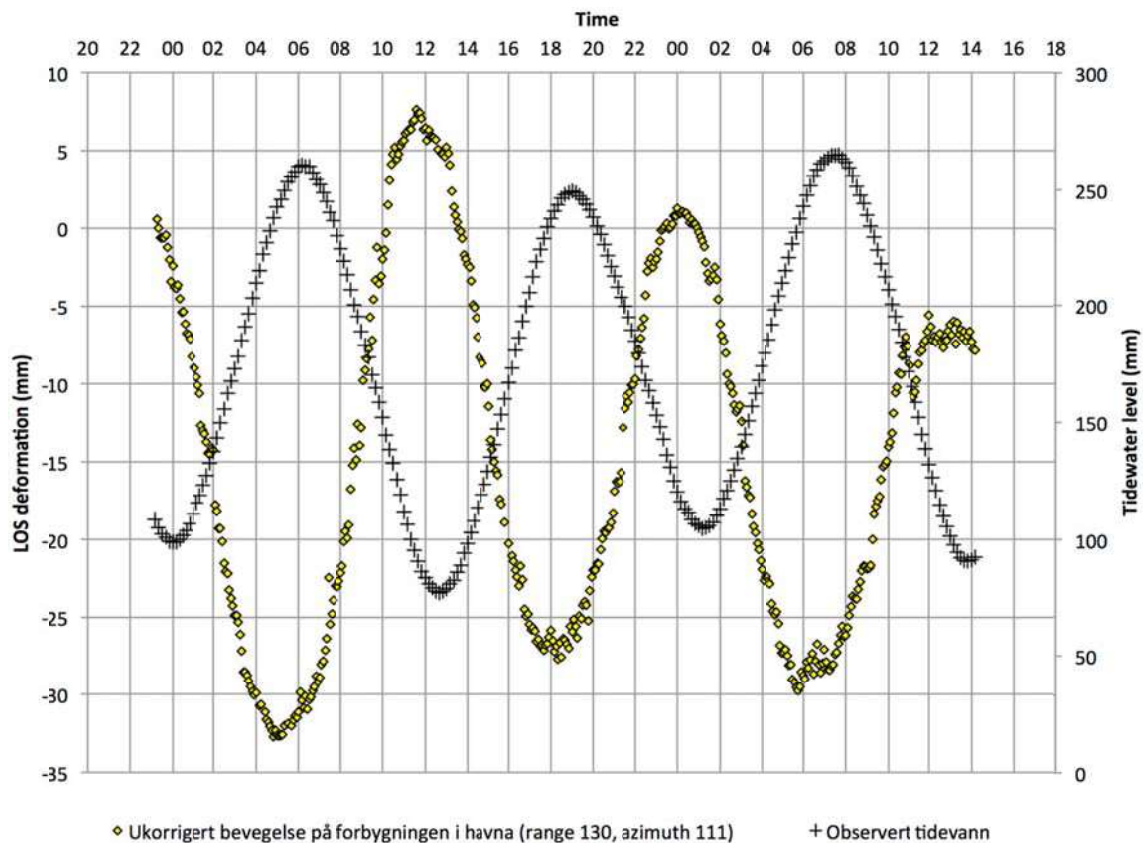


Fig. 4. Tydelig korrelasjon mellom observert bevegelse og tidevannskurve. Denne effekten er korrigert via filtrering av tidsserien.

5 RESULTATER

Akkumulert bevegelse i radarens sikteretning ble beregnet basert på korrigerede tidsserier. Punkter med negative verdier beveger seg mot radar. Akkumulert bevegelse fra 11.05.2015 kl. 05:10 til 12.05.2015 kl. 08:00 viser over 50 mm bevegelse i enkeltpunkter i område A (Fig. 5B og C).



Fig. 5. A. Panorama som viser områder med særlig stor bevegelse (A–C). Sørkjosen sentrum til venstre i bildet. B. 3D-visning av akkumulert bevegelse i løpet av 1,1 døgn med målinger i radars sikteretning. C. Kartprojeksjon av akkumulert bevegelse.

Vi genererte tidsserier for utvalgte områder. Område A er på raskanten som grenser til veien der molo før traff land; område B og C er på raskanten som grenser til vei rett nord for molo.

Tidsseriene i Fig. 6 viser deformasjon som funksjon av tid for tidsrommet fra 11.05.2015 kl. 05:10 til 12.05.2015 kl. 08:00 for de forskjellige områdene markert i Fig. 5. Deformasjon er beregnet på bakgrunn av et gjennomsnitt av 6 piksler fordelt på ca. 10 kvadratmeter for område A, 5 piksler fordelt på ca. 35 kvadratmeter for område B og 8 piksler fordelt på ca. 30 kvadratmeter for område C.

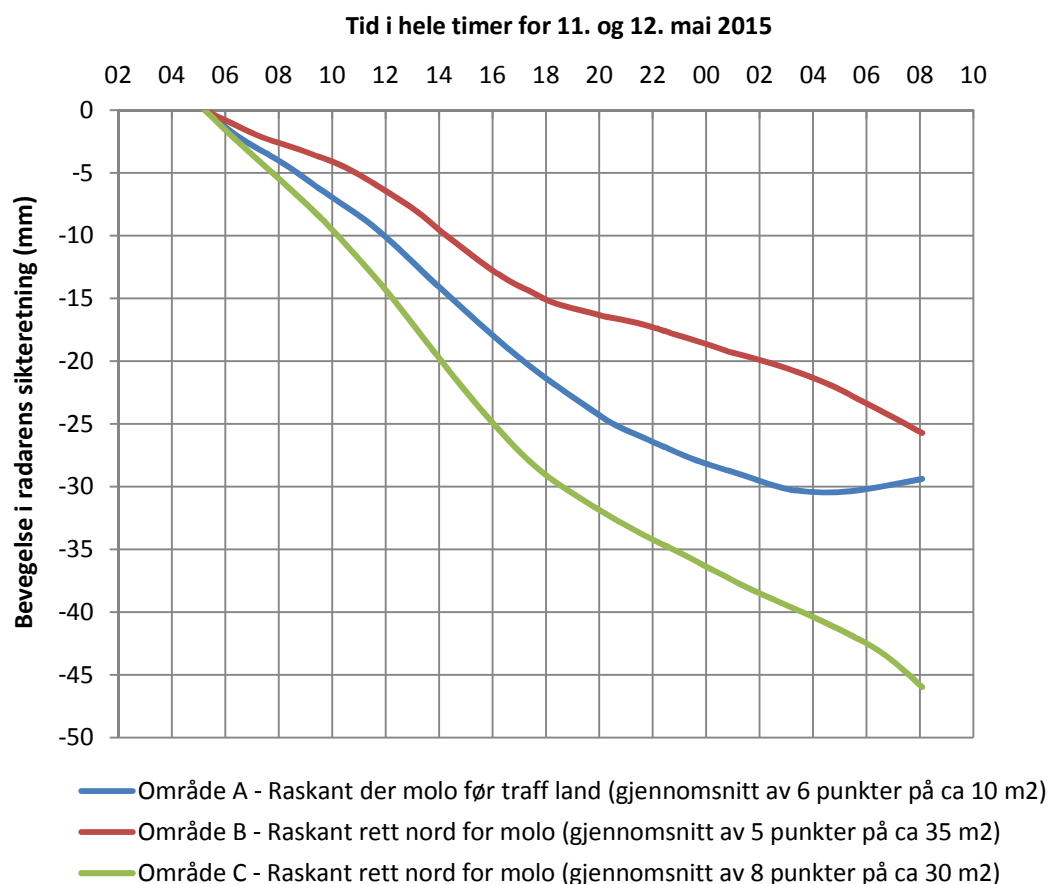


Fig. 6. Gjennomsnittlig bevegelsesutvikling for områdene A, B og C.

6 DISKUSJON

Målekampanjen avdekket flere områder langs strandlinjen med bevegelse. Selv om måleperioden er svært kort, så er det tegn til stabiliserende trend for området A. Områdene B og C har en mer lineær bevegelsestrend. Både område B og C har en antydning til akselerasjon mot slutten av måleperioden (Fig. 5). Siden tidsserien er svært kort, kan akselerasjonen være en rest av tidevannets påvirkning på måleteknikken.

Radaren observerer i dette tilfellet hovedsakelig den horisontale bevegelseskomponenten grunnet radarens plassering nær havoverflaten. I område A går raskanten helt inn til veien (Fig. 7A). Bevegelsen vi observerer er med stor sannsynlighet årsaket av påkjørte masser som hviler på en avgrenset linse av antatte finkornede sedimenter (silt/leir) (Fig. 7B). Bevegelsen vi observerer i område B og C lengre nord, stammer også fra den bratte raskanten som grenser til vei (Fig. 7C). Det er ikke uventet å observere overflatebevegelser i tilknytning til ferske raskanter.



Fig. 7. A. Område A på raskanten som grenser til veien der molo før traff land. Gul sirkel angir område med høyest bevegelse. B. Nærbilde av påkjørte masser som hviler på finkornede masser. C. Område B og C på raskanten som grenser til vei rett nord for molo.

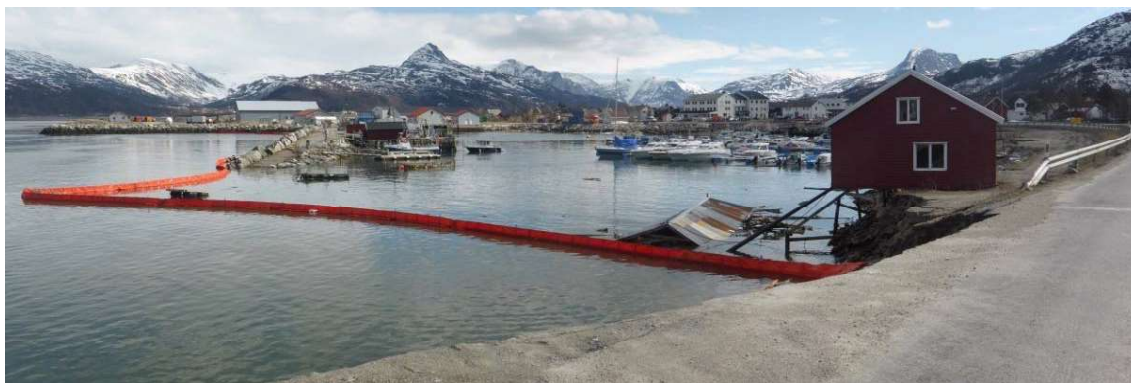


Fig. 8. Område A med sprekkdannelse i tilknytning til veibane.

Det ble observert sprekkdannelse i ytre kant av veibanen i område A. Dette kan tyde på at den observerte bevegelse kan være styrt av dypere svakhetssoner (Fig. 8).

Bakkebasert radar «belyser» og måler endring i hvordan naturlige spredere (blokk, blotninger, løsmasser etc.) og menneskeskapt spredere (infrastruktur, bygninger, skjæringer etc.) returnerer mikrobølgestråling. De største feilkildene ved interferometrisk prosessering (studere faseendring mellom to opptak) er endringer av atmosfærisk tilstand. En endring av atmosfærens innhold, da spesielt vanndamp og flytende vann, mellom to målinger, vil føre til endret gangvei for signalet (endring av brytningsindeks og Snells lov). Dette kan feiltolkes som deformasjon. Atmosfæriske endringer har relativt stor romlig utstrekning og endrer seg relativt hurtig i tid. Endring i atmosfære mellom hver måling (5 minutter) er imidlertid forventet å være så liten at det i liten grad vil påvirke målingene. Det er derfor ikke gjort noen forsøk på å fjerne dette bidraget til signalet.

Det er forventet at noe av bevegelsen vi ser kan skyldes ekstensjon og kontraksjon i bebyggelse og infrastruktur (autovern) på grunn av oppvarming og nedkjøling som følge av endring i solinnstråling og temperatur. I områder med sterke spredere som også er utsatt for ekstensjon og kontraksjon, kan dette påvirke målingene. Det bør derfor vises forsiktighet når bevegelsesdata fra slike områder skal tolkes.

7 KONKLUSJON

I etterkant av raset i Sørkjosen 10.05.2015 samlet Norut inn bevegelsesdata ved hjelp av et bakkebasert radarsystem. Over et tidsrom på ca 1,5 døgn ble terrenget i området fra Sørkjosen sentrum, havneområdet, molo og ny veitrase fram til det nye tunnelinnslaget målt hvert 5. minutt. I området lengst mot nord var antatt bevegelsesretning omtrent vinkelrett på radarens sikteretning. Disse målingene ble derfor forkastet fra analysen.

Prosessering av datasettet har vært krevende. Plassering av radar nær vannflaten gav uønskede effekter ved at varierende vannstand forårsaket av tidevann påvirket reflektert signal (multipath-effekt). Denne effekten er korrigert for.

Resultater viser at de største bevegelsene er i tilknytning til raskanten som går helt opp til E6 i området før raset traff land og nord for dette. Det er mindre bevegelser i begrensede områder på moloen og i tilknytning til forbygning innerst i havna.

Tidsserier for tre områder langs veitraseen viser en avtagende stabiliserende trend for et av områdene og en mer lineær bevegelsestrend med antydning til akselerasjon mot slutten av måleperioden for to av områdene. Område C bevegde seg mest. med total forflytning ca. 45 mm mot radar på 1,1 døgn.

Målekampanjen er for kort til å si noe sikkert om hvordan områdene vil utvikle seg i fremtiden. En lengre målekampanje kan si mer om bevegelsesutviklingen i området.

8 REFERANSER

Werner, C., Strozzi, T., Kos, A., Caduff, R., & Wegmuller, U. (2012). The GPRI multi-mode differential interferometric radar for ground-based observations. *Synthetic Aperture Radar, 2012. EUSAR. 9th European Conference on 23-26 April 2012, Nuremberg, Germany*, 304 - 307.

Larsen, Y., Engen, G., Lauknes, T. R., Malnes, E. & Høgda, K. A. A generic differential InSAR processing system, with applications to land subsidence and SWE retrieval. *Proc. Advances in SAR Interferometry from ENVISAT and ERS missions (FRINGE 2005)*, ESA ESRIN, Frascati, Italy, November 28 - December 2, 2005.

Lauknes, T. R. Rockslide Mapping in Norway by Means of Interferometric SAR Time Series Analysis. *Ph.D. thesis*, University of Tromsø, 2011.