

UPPGIFTER:	
Projektnamn	Utvärdering och nyttoanalys av en rikstäckande InSAR-tjänst
Projektspecifikation till FoI-portfölj	FoI-portfölj Vidmakthålla
Hänvisning till avsnitt i Trafikverkets FoI-plan	Vidmakthålla: Samlad kunskap om anläggningarnas tillstånd
Företag/organisation	Rymdstyrelsen
Organisationsnummer	202100-2585
Adress	Hemvärnsgatan 15, 171 54 SOLNA
Projektledare/kontaktperson	Tobias Edman
E-post	tobias.edman@snsa.se
Telefonnummer	08-409 077 80
Sponsor i Trafikverket (ifylls av Trafikverket)	Havin Nyqvist eller Anders Aabakken
FoI Handläggare i Trafikverket (ifylls av Trafikverket)	Erik Toller Erik.toller@trafikverket.se 010-123 33 51 0721-43 24 67
Trafikverkets Ärendenummer	TRV2019/76576
Motpartens ärendeID	2020-00219
Dokumentdatum	2020/09/15

Bilagor:

1. Utvärdering och nyttoanalys av en rikstäckande InSAR-tjänst
2. Beskrivning av behov och möjligheter med en nationell rymddatatjänst för att följa markrörelser i Sverige
3. Analysis of Clay-Induced Land Subsidence in Uppsala City Using Sentinel-1 SAR Data and Precise Leveling,
4. Mapping subsidence in an urban area with Differential InSAR and comparing with traditional methods.
5. Using-InSAR-to-detect-railway-deformations

För att Trafikverket ska kunna behandla ditt projektförslag, samt följa upp beviljade projekt, samlar och sparar vi vissa personuppgifter. Genom att lämna in ditt projektförslag ger du ditt samtycke till det. Mer information hittar du på vår hemsida www.trafikverket.se.

Innehållsförteckning

1	Sammanfattning, bakgrund, syfte och mål	4
1.1	Sammanfattade projektbeskrivning.....	4
1.2	Planerad tidsram	4
1.3	Bakgrund	4
1.4	Syfte	5
1.5	Mål.....	5
1.6	Metoder och modeller	5
1.7	Projektgenomförande kopplat till projektaktivitet	6
1.8	Kopplingar till andra projekt.....	8
2	Förväntat resultats värde.....	8
2.1	Immateriella rättigheter.....	9
3	Projektets omfattning och avgränsning.....	9
3.1	5-stepsprincipen	9
4	Rapportering och betalningsplan	9
5	Tidplaner	9
5.1	Milstolpar	10
6	Budget.....	11
6.1	Sammanställning av totala projektkostnader och finansiering	11
6.2	Sammanställning av projektkostnader och finansiering Koordinerande projektpart.....	11
6.3	Projektpart.....	12
6.4	Kostnadslag, den del som finansieras från Trafikverket	15
6.5	Trafikverkets interna kostnader (ifylls av Trafikverket).....	15
6.6	Projektets totala budget och timmar per aktivitet/etappindelning	15
7	Organisation och partners	17
8	Jämställdhets-, genus- och mångfaldsaspekter	18
9	Riskhantering	18

10	Kommunikation	19
11	Överlämning	20
12	Övrigt	20
13	Referenser.....	20



1 Sammanfattning, bakgrund, syfte och mål

1.1 Sammanfattade projektbeskrivning

Projektet syftar till att introducera en rikstäckande markrörelsetjänst för Sverige som är baserad på rymddata och som har potential att användas inom en mängd områden som exempelvis klimatanpassning, samhällsplanering och infrastrukturövervakning. Projektet ska genomföras i samarbete med Norges geologiska undersökning och kommer att validera data och utvärdera samhällsnyttan för att senare ge en rekommendation för om en motsvarande tjänst bör införas permanent eller ej. Projektet kommer göra en vetenskaplig analys av data tillsammans med expertis vid Chalmers tekniska högskola samt en bred nyttoanalys tillsammans med myndigheterna i Myndighetssamverkan Copernicus (18 myndigheter), där det även kommer att genomföras informationsutbredning till bland annat kommuner och näringsliv för att bredare kunna nå ut till intressenterna och kunna analysera deras behov och intresse för tjänsten.

The project aims to introduce a nationwide ground motion service for Sweden that is based on space data and has the potential to be used in a number of areas such as climate adaptation, spatial planning and infrastructure monitoring. The project will be carried out in collaboration with Norway's geological survey and will validate data and evaluate public benefit to provide a recommendation for whether a corresponding service should be introduced permanently or not. The project will make a scientific analysis of data together with expertise at Chalmers University of Technology and a broad analysis of the public benefit together with the Governmental board for Copernicus (18 agencies), information will also be disseminated to municipalities, the public and technical consultants to reach a wider audience and assess their needs and interest in the service.

1.2 Planerad tidsram

Startdatum: 2020-10-15

Slutdatum: 2022-12-31

Slutdatumet är satt för att passa med en post-doc anställning på två år. Övriga delar av projektet kommer avslutas till den 20/11 2022.

1.3 Bakgrund

Norges geologiska undersökning har sedan 2009 arbetat med detektion av markrörelser baserade på data från radarsatelliter. Sedan 2019 har rikstäckande data med information om markrörelser på millimeternivå i mer än 3,5 miljarder punkter tillgängliggjorts som öppen data i Norge. Det har lett till stor användning av informationen utanför det ursprungliga användningsområdet som var skredetektion. Nu används informationen också för bland annat stadsplanering och för att följa upp problematik kring sättnings-skador med mera.

I Sverige används information om markrörelser från rymddata för uppföljning av markrörelser i samband med olika infrastrukturprojekt, bland annat för att identifiera sättnings-skador i arbetet med Västlänken i Göteborg och för skredförebyggande åtgärder längs Göta älv. Det finns en stor potential för att information om markrörelser kan få en mycket bredare användning och bli ett viktigt underlag i arbetet med klimatanpassning i både kust och inland, att det kan användas för att minska riskerna och fokusera underhållet av infrastruktur samt förbättra statsbyggnadsprocessen genom att tidigt identifiera områden med pågående sättningsproblematik och därmed utgöra ett viktigt underlag i arbetet med klimatanpassning av stadsbebyggelse och infrastruktur.

Tidigare har en behovsinventering genomförts och längre sammanfattningar finns kopplat till Trafikverkets behov i dokumentet "Trafikverkets behov rörande en nationell InSAR-tjänst" samt en för samhällsnytta från Myndighetssamverkan Copernicus "InSar-



tjänst för att följa markrörelser i Sverige". Båda rapporterna visar på ett tydligt användarintresse och på en stor möjlighet att effektivisera och spara pengar.

1.4 Syfte

Syftet med projektet är att validera och kvalitetsutreda InSAR-data från Sentinel-1 satelliterna och utvärdera den nytta som de kan ge för klimatanpassning, samhällsplanering och infrastrukturövervakning i Sverige.

1.5 Mål

- Från 2021 tillgängliggöra Nationella data över markrörelser på millimetrynivå, motsvarande vad som tillgängliggörs i Norge, en gång per år.
- Under projekttiden ta fram underlag och resultat kring validering och kvalitetssäkring av InSAR-data från Sentinel-1 satelliterna.
- Kartlägga användningsområden för InSAR-data i kommuner och myndigheter.
- Sprida information och projektresultat till potentiella användare inom klimatanpassning, infrastruktur och samhällsplanering.
- Ta fram en plan för operationalisering utifrån identifierade samhällsbehov och samhällsnytta.

1.6 Metoder och modeller

Projektet kommer grunda sig på ett samarbete med Norges geologiska undersökning (NGU) som också kommer ingå i projektet och genom det samarbetet producera en rikstäckande InSAR-analys, baserad på data från perioden 2015-2020, med en uppdatering per år. Aktuella data kommer sedan att valideras med hjälp av expertis på Chalmers och nyttjande kommer att utvärderas av bland annat myndigheterna Trafikverket, Lantmäteriet, Statens geotekniska institut (SGI), Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), Sveriges geologiska undersökning (SGU) och Rymdstyrelsen. Rymdstyrelsen kommer även att vara projektkoordinator.

När behandlade data är klara kommer utvärderingen att starta i tre steg:

1) Chalmers kommer att börja med validering av data och med sin expertis inom fjärranalys utvärdera kvalitén. De deformationsdata som genereras av NGU kommer att jämföras med data från Lantmäteriets GNSS-stationer i SWEPOS-nätverket. Områden där jämförelserna påvisar avvikelser kommer att specialstuderas med hjälp av fältbesök och arkiverade observationer av atmosfär, jonosfär och meteorologiska förhållanden från de tillfällen då Sentinel-1 data togs. Vattenånga i atmosfären som kan påverka InSAR mätningarna kommer att härledas från GNSS mätningar med metoder utvecklade av Chalmers enhet för Rymdgeodesi och Geodynamik vid Onsala Rymdobservatorium. Resultaten kommer att användas för att identifiera potentiella förbättringar i databehandlingen och ge förslag på hur atmosfärsstörningar ska hanteras. Avslutningsvis kommer möjligheter att förbättra kvalitén över områden med vegetation och snötäcke att analyseras.

2) Myndigheterna inom samarbetet kommer att nyttja data inom respektive organisation och utvärdera de nya möjligheter som ges. Den nya tjänsten kommer både ge möjlighet till småskalig analys av till exempel skredrisker och större spatiala analyser som storskaliga markrörelser. Det kommer även göras en informationsspridning av tjänsten inom myndigheterna för att möjliggöra en användning i diverse olika projekt och utredningar. Exempel på vad som kommer studeras framgår av kapitel 1.7.

3) Gemensamt kommer work-shops att hållas där idéer kan delas och arbete kan ske gemensamt både för att utveckla ny metodik för nyttjandet samt utveckling av systemet.



Även andra aktörer, utanför projektdeltagarna, kommer att bjudas in till diskussionerna. Fokus kommer också att läggas på informations spridning om tjänsten till kommuner och näringsliv. Detta för att kartlägga hur stor den estimerade användarbasen är i Sverige.

1.7 Projektgenomförande kopplat till projektaktivitet

Arbetspaket 1: Projektledning

Medverkande: Rymdstyrelsen

Startar: 2020-10-15

Slutar: 2022-12-31

Omfattning: ca 20 % av en heltidstjänst

Beskrivning:

Rymdstyrelsen är projektledare och rapporterar projektets resultat till Trafikverkets handläggare. Projektledningen innebär också att samordna de olika parterna och se till att projekt och betalningsplaner följs.

Arbetspaket 2: Framtagning av deformationsdata

Medverkande: Rymdstyrelsen, NGU, Lantmäteriet, Chalmers

Startar: 2020-10-15

Slutar: 2022-10-31

Omfattning: Bearbetning av all Sentinel-1 data över Sverige, med ett resultat på runt 10 miljarder mätpunkter.

Beskrivning:

I detta arbetspaket kommer NGU att leverera deformationsdata, producerade med det system som för närvarande producerar data för hela Norge. Gemensam bearbetning ökar effektiviteten avsevärt. Den inledande aktiviteten i detta arbetspaket kommer att vara en konsolidering av nödvändiga hjälpdata för att bearbeta norska och svenska data tillsammans. Det viktigaste är leveransen av en sömlös digital höjddatamodell (DEM) som täcker båda länderna. Andra datamängder, som snötäcke, kan också vara användbara. Datastackar initialiseras sedan med den nya DEM:n. Särskild uppmärksamhet måste tas runt Östersjön, där vår- och höstscener är färre på grund av aktiviteterna i Baltic Ice Service.

Initiala demonstrationsprodukter kommer att produceras före slutet av 2020. Full täckning av Sverige kommer att vara klar i slutet av februari 2021. Alla tillgängliga scener kommer att användas, vilket resulterar i två fallande och två stigande täckningar. En andra fullständig täckning kommer att produceras med början i oktober 2021, med data som levereras före slutet av februari 2022.

All data kommer att levereras i ett lämpligt databasformat. Uppgifter kommer också att göras tillgängliga i det webb-GIS-system som används av InSAR Norge, antingen som en gemensam portal eller som en separat InSAR.se-tjänst.

Arbetspaket 3: Validering av deformationsdata

Medverkande: Lantmäteriet, Chalmers, NGU

Startar: 2021-01-01

Slutar: 2022-10-31

Omfattning: ca 1,5 heltidstjänster

Beskrivning: Syftar till att georeferera och validera deformationsdata (från PSInSAR) bland annat med hjälp av Lantmäteriets nationella nät av permanenta GNSS-stationer (efter analys av data från stationerna tillhandahålls positioner och hastigheter i tre dimensioner med hög noggrannhet). Här kommer en post-doc att grundligt utvärdera deformationsdata och bekräfta dess giltighet och förbättringspotential. Utvärderingen kommer att baseras på jämförelser med data från GNSS, transpondrar, reflektorer, meteorologiska mätstationer och fältbesök. Vattenånga i atmosfären som kan påverka

InSAR mätningarna kommer att härledas från GNSS mätningar med metoder utvecklade av Chalmers enhet för Rymdgeodesi och Geodynamik vid Onsala Rymdobservatorium. Data kommer även kunna nyttjas inom bland annat geotekniska applikationer. Resultaten av valideringen kommer publiceras i per review granskade tidskrifter.

GNSS-data är en viktig insats för att förstå regionala deformationsmönster (till exempel landhöjningsmodeller, såsom NKG2016LU). InSAR-data kan också användas för att förtäta dessa modeller.

Arbetspaket 4: Geotekniska applikationer**Medverkande:** SGI, TRV, SGU**Startar:** 2021-03-01**Slutar:** 2022-10-31**Omfattning:** ca 0,5 heltidstjänster

Beskrivning: Syftar till att utvärdera hur deformationsdatan kan användas för kartläggning av skredrisker, inom bygg och underhållsprojekt och uppdatering av geologiska underlag som används vid skredriskkartläggningar. Eftersom deformationsdata:n är öppen kommer den även att kunna nyttjas inom planerade, pågående och genomförda bygg- och underhållsprojekt inom Trafikverket. Användande kommer vara en viktig del i nyttoanalysen och ytterligare ett verktyg för projekten

Arbetspaket 5: Klimatanpassning**Medverkande:** Rymdstyrelsen/TRV/SGI i dialog med Boverket och SMHI**Startar:** 2021-03-01**Slutar:** 2022-10-31**Omfattning:** ca 0,5 heltidstjänster

Beskrivning: Syftar till att sprida den öppna deformationsdatan till aktörer som arbetar med klimatanpassning som länsstyrelser, kommuner, näringsliv, samhällsaktörer med mera och arbeta aktivt med att ta in deras behov och de användningsområden som de ser.

Arbetspaket 6: Samhällsnytta/Användarbehov**Medverkande:** Alla**Startar:** 2021-01-01**Slutar:** 2022-10-31**Omfattning:** ca 0,5 heltidstjänster

Beskrivning: Syftar till att sprida den öppna deformationsdatan och användarbehoven kring dessa i dialog med andra aktörer så som privata användare, kommuner, näringsliv, teknikkonsulter, samhällsaktörer med mera. I dialog med intressenterna ska olika applikationsområden tas fram och samhällsnyttan kvantifieras.

Arbetspaket 7: Sekretess och exportkontroll**Medverkande:** FOI, alla**Startar:** 2021-01-01**Slutar:** 2022-12-31**Omfattning:** 150 timmar

Beskrivning: FOI kommer att sammanfatta regelverket kring sekretess och exportkontroll med särskilt beaktande av försvarssekretess. Respektive myndigheter kommer även att bidra i klassificeringen av data utifrån ett sekretessperspektiv. Resultatet är en rekommendation hur data och resultat ska hanteras för att följa regelverket.

Arbetspaket 8: Operationalisering/Överlämning**Medverkande:** Alla



Startar:2021-06-10

Slutar:2021-12-15

Omfattning: 400 timmar

Beskrivning: Utredning av operationalisering av InSAR tjänst med nationell teckning. Utvärdera hur en nationell tjänst kan komplettera och dra nytta av den kommande europeiska markrörelsetjänsten.

1.8 Kopplingar till andra projekt

Lantmäteriet deltar för närvarande i ett projekt, Geodetic SAR, finansierat av ESA. Ett av huvudmålen med projektet är att utvärdera SAR transpondrar för absolut positionering och jämföra med andra geodetiska metoder (till exempel GNSS). Erfarenheterna från det projektet är relevanta och bidrar till ökat värde av resultaten i detta projekt.

SIGI arbetar med skredövervakning i bland annat Göta älvdalen och kommer ha stor nytta av resultaten från det här projektet.

Det finns ett stort intresse för användandet av InSAR inom Trafikverket för både underhåll och investeringsprojekt. Dessa projekt kommer att ges möjlighet att använda denna data och deras erfarenheter kommer bli en del av utvärderingen.

Andra FOI-projekt inom InSAR är även intressanta för delning av resultat, däribland "Satellite monitoring of railways using InSAR".

Europeiska miljöbyrån (EEA) genomför en upphandling av en gemensam europeisk markrörelsetjänst. Det här projektet syftar till att förbereda för användning av den tjänsten, men också att utforska hur den kan kompletteras för ökad användarnytta.

Alla bidrar med info

2 Förväntat resultatets värde

Markdeformationskartor och tidsserier för individuella mätpunkter baserade på InSAR kan nyttjas av en lång rad användare och applikationer, till exempel:

- Geologiska och geofysiska undersökningar;
- Geodetiska och topografiska mätningar;
- Samhällsskyddande myndigheter;
- Gruvindustrin;
- Väg- och järnvägsförvaltning;
- Vattenresursplanering;
- Kulturarvsinstitutioner;
- Samhällsplanerare;
- Bygg och anläggningsföretag;
- Försäkringsbranschen;
- Forskningscentra och universitet;
- Privatpersoner.

(Fritt från: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLIII-B3-2020/293/2020/>)

En studie som gjorts av European Association of Remote Sensing Companies (EARSC) visar på en potential på besparingar på 80 miljoner kronor i Norge och det gäller endast för vägar och vägbyggnation. Besparingarna i Sverige förväntas vara likartade och kostnaden för projektet kommer täckas av besparingarna redan under projekttiden. Att beräkna potentialen ingår i projektet, men det förväntas överstiga 100 miljoner kronor per år.

2.1 Immateriella rättigheter

Alla projektparter bidrar med sin egen bakgrundsinformation. Ingen part kan göra anspråk på annan parts bakgrundsinformation.

Den nyutveckling som görs genom denna finansiering ska i första hand göras som open source.

Den bakgrundsinformation som part tar med sig in i projektet ska listas i samarbetsöverenskommelsen.

Licenser kopplade till bakgrundsinformation överförs inte mellan projektdeltagare.

3 Projektets omfattning och avgränsning

Projektet är begränsat både tidsligt rumsligt och ämnesmässigt. Endast data över svenskt territorium kommer att analyseras och tillgängliggöras inom projektet. Data som ingår kommer uppdateras en gång per år och den data som bearbetas kommer vara begränsad till perioden 2015 till 2021.

Endast en uppdatering av data kommer genomföras per år och projektet avslutas i december 2022.

Projektet tillgängliggör data och validerar dess kvalitet och arbetspaketen med informationsspridning och analys av samhällsnytta omfattar inte supportfunktioner.

3.1 5-stegsprincipen

Välj vilken princip (av 1-5) som är aktuell för projektet

4. Medverka till gemensamma lösningar inom Norden.

4 Rapportering och betalningsplan

Projektdeltagarna avstämmer månadsvis till projektledningen hur projektet fortlöper. Projektdeltagarna rapporterar vad som har gjorts, resursåtgång och hur arbetet förhåller sig till planen. Avvikelser rapporteras kontinuerligt till Trafikverkets handläggare.

Projektledningen sammanställer och rapporterar till Trafikverkets handläggare och rapportering sker efter överenskommelse med denne, men förslagsvis i samband med rekvisering av medel i november, mars och juli löpande över åren.

Projektledningen sammanställer och rapporterar till Trafikverkets handläggare vid tertialvisa rekviseringar enligt rekommendation.

Slutrapport lämnas in i december 2020

5 Tidplaner

Projektet är uppdelat i faser i enlighet med avsnitt 1.7.

Arbetspaket 1: Projektledning

Startar:2020-10-15

Slutar:2022-12-31

Arbetspaket 2: Framtagning av deformationsdata

Startar:2020-10-15

Slutar:2022-10-31

Arbetspaket 3: Validering av deformationsdata



Startar: 2021-01-01

Slutar:2022-10-31

Arbetspaket 4: Geotekniska applikationer

Startar:2021-01-01

Slutar:2022-10-31

Arbetspaket 5: Klimatanpassning

Startar:2021-01-01

Slutar:2022-10-31

Arbetspaket 6: Sekretess och exportkontroll

Startar:2021-01-01

Slutar:2022-10-31

Arbetspaket 7: Informationssäkerhet

Startar:2021-01-01

Slutar:2021-06-30

Arbetspaket 8: Operationalisering/Överlämning

Startar:2021-06-10

Slutar:2022-04-15

5.1 Milstolpar

2020

M1: Projektavtal

M2: Första referensgruppsmötet (november)

M3: Första rekvirering (november)

M4: Leverans av nationella data över markrörelser (december)

2021

M5: Post doc rekryterad (januari)

M6: Transpondrar eller passiva signaler för InSAR installerade vid 6 permanenta GNSS-stationer i SWEPOS-nätet i syfte att utvärdera lämplig design för att komplettera den nationella geodetiska infrastrukturen.

M7: Projektmöte med demonstration av NGU (februari).

M8: Starta en workshopserie kring användning och samhällsnytta (mars).

M9: Rapport om informationssäkerhet (juni).

M10: Uppdatering av data (november)

M11: Slutrekvirering 2021 (november)

M12: Valideringsrapport som beskriver resultaten från den första utvärderingen av deformationsdata. (december)

2022

M13: Rapport operationalisering (april)

M14: Rapport samhällsnytta (maj)

M15: Rapport klimatanpassning (september)

M16: Rapport geoteknik (september)

M17: Slutseminarium (november)

M18: Slutrekvirering (november)

M19: Den nationella geodetiska infrastrukturen kompletterad med ytterligare ca 15 transpondrar eller signaler samlokaliserade med permanenta GNSS-stationer i SWEPOS-nätet, till en täthet av ca 150-200 km, (för att förbättra möjligheten att georeferera de nationella InSAR-produkterna).

M20: Slutrapport (december)

6 Budget

6.1 Sammanställning av totala projektkostnader och finansiering

Kostnadsslag, tkr	2019	2020	2021	2022	2023	Summa
Personalkostnader		428	1989	1701	0	4118
Antal timmar		683	3655	3192	0	7530
Utrustning, mark och byggnader		150	200	400	0	750
Konsultkostnader, licenser		0	0	0	0	0
Övriga direkta kostnader inkl. resor		3047	2141	2651	0	7839
Indirekta kostnader		86	723	632	0	1441
Totala kostnader		3711	5053	5384	0	14148
Projektets finansiering, tkr						
Varav sökt bidrag från Trafikverket		2116	1945,5	2131		6192,5
Varav annan statlig finansiär		1116	1945,5	2131		5192,5
Varav annan privat finansiär						0
Varav egen finansiering		479	1162	1122		2763
Total finansiering		3711	5053	5384		14148

6.2 Sammanställning av projektkostnader och finansiering Koordinerande projektpart

Kostnadsslag, tkr	2019	2020	2021	2022	2023	Summa
Personalkostnader		40	310	310		660
Antal timmar		80	600	600		1280
Utrustning, mark och byggnader						
Konsultkostnader, licenser						
Övriga direkta kostnader inkl. resor			60	60		120
Indirekta kostnader		12	93	93		198
Totala kostnader		52	463	463		978

Projektets finansiering, tkr					
Varav sökt bidrag från Trafikverket					
Varav annan statlig finansiär					
Varav annan privat finansiär					
Varav egen finansiering	52	463	463		978
Total finansiering	52	463	463		978

6.3 Projektpart

Chalmers tekniska högskola						
Kostnadslag, tkr	2019	2020	2021	2022	2023	Summa
Personalkostnader		79	966	903		1948
Antal timmar		163	1955	1792		3910
Utrustning, mark och byggnader						
Konsultkostnader, licenser						
Övriga direkta kostnader inkl. resor		27	68	78		173
Indirekta kostnader		34	416	389		839
Totala kostnader		140	1450	1370		2960
Projektets finansiering, tkr						
Varav sökt bidrag från Trafikverket		70	725	685		1480
Varav annan statlig finansiär		70	725	685		1480
Varav annan privat finansiär						
Varav egen finansiering						
Total finansiering		140	1450	1370		2960

Lantmäteriet						
Kostnadslag, tkr	2019	2020	2021	2022	2023	Summa
Personalkostnader		50	160	160		370
Antal timmar		100	320	320		740
Utrustning, mark och byggnader		150	200	400		750
Konsultkostnader, licenser						0
Övriga direkta kostnader inkl. resor						0
Indirekta kostnader		30	96	96		222
Totala kostnader		230	456	656		1342
Projektets finansiering, tkr						
Varav sökt bidrag från Trafikverket		46	91	131		268
Varav annan statlig finansiär		46	91	131		268
Varav annan privat finansiär						

Varav egen finansiering		138	274	394		806
Total finansiering		230	456	656		1342

Sveriges geologiska undersökning

Kostnadslag, tkr	2019	2020	2021	2022	2023	Summa
Personalkostnader		120	160			280
Antal timmar		150	200			350
Utrustning, mark och byggnader						
Konsultkostnader, licenser						
Övriga direkta kostnader inkl. resor						
Indirekta kostnader						
Totala kostnader		120	160	0		280
Projektets finansiering, tkr						
Varav sökt bidrag från Trafikverket						
Varav annan statlig finansiär						
Varav annan privat finansiär						
Varav egen finansiering		120	160			280
Total finansiering		120	160			280

Statens geotekniska institut

Kostnadslag, tkr	2019	2020	2021	2022	2023	Summa
Personalkostnader		35	135	135		305
Antal timmar		50	200	200		450
Utrustning, mark och byggnader						
Konsultkostnader, licenser						
Övriga direkta kostnader inkl. resor		20	10	10		40
Indirekta kostnader		10	40	40		90
Totala kostnader		65	185	185		435
Projektets finansiering, tkr						
Varav sökt bidrag från Trafikverket			50	50		100
Varav annan statlig finansiär			50	50		100
Varav annan privat finansiär						
Varav egen finansiering		65	85	85		235
Total finansiering		65	185	185		435

Totalförsvarets forskningsinstitut

Kostnadslag, tkr	2019	2020	2021	2022	2023	Summa
Personalkostnader			78	13		91
Antal timmar			120	20		140

Utrustning, mark och byggnader					
Konsultkostnader, licenser					
Övriga direkta kostnader inkl. resor		3	3		6
Indirekta kostnader		78	14		92
Totala kostnader		159	30		189
Projektets finansiering, tkr					
Varav sökt bidrag från Trafikverket		79,5	15		94,5
Varav annan statlig finansiär		79,5	15		94,5
Varav annan privat finansiär					
Varav egen finansiering					
Total finansiering		159	30		189

Trafikverket						
Exklusive handläggning (kap. 6.5)						
Kostnadslag, tkr	2019	2020	2021	2022	2023	Summa
Personalkostnader		24	100	100		224
Antal timmar		40	160	160		360
Utrustning, mark och byggnader						
Konsultkostnader, licenser						
Övriga direkta kostnader inkl. resor						
Indirekta kostnader						
Totala kostnader		24	100	100		224
Projektets finansiering, tkr						
Varav sökt bidrag från Trafikverket						
Varav annan statlig finansiär						
Varav annan privat finansiär						
Varav egen finansiering		24	100	100		224
Total finansiering		24	100	100		224

Norges geologiska undersökning						
Kostnadslag, tkr	2019	2020	2021	2022	2023	Summa
Personalkostnader		80	80	80		240
Antal timmar		100	100	100		300
Utrustning, mark och byggnader						
Konsultkostnader, licenser						
Övriga direkta kostnader inkl. resor		3000	2000	2500		7500
Indirekta kostnader						
Totala kostnader		3080	2080	2580		7740
Projektets finansiering, tkr						

Varav sökt bidrag från Trafikverket		2000	1000	1250		4250
Varav annan statlig finansiär		1000	1000	1250		3250
Varav annan privat finansiär						
Varav egen finansiering		80	80	80		240
Total finansiering		3080	2080	2580		7740

6.4 Kostnadslag, den del som finansieras från Trafikverket

Kostnadslag, tkr	2019	2020	2021	2022	2023	Summa
Personalkostnader		101	629	565		1296
Antal timmar		166	1203	1072		2442
Utrustning, mark och byggnader		30	40	80		150
Konsultkostnader, licenser						0
Övriga direkta kostnader inkl. resor		1962	1000	1254		4216
Indirekta kostnader		23	277	231		531
Totala kostnader		2116	1946	2131		6193

6.5 Trafikverkets interna kostnader (ifylls av Trafikverket)

	2019	2020	2021	2022	2023	Summa
Sökt bidrag från Trafikverket						
Trafikverkets interna kostnader för projektet ifylls av Trafikverket innan beslut (TG2) och ska ingå i projektets totala beslutade budget		10	60	60		130
Summa underlag för beslutad budget		10	60	60		130

6.6 Projektets totala budget och timmar per aktivitet/etappindelning

Aktivitet/etappindelning	Tid/datum	Beskrivning	Budget fördelat per aktivitet/etapp	Timmar
Projektledning	Startar:2020-10-15 Slutar:2022-12-31	Rymdstyrelsen är projektledare och rapporterar projektets resultat till Trafikverket. Projektledningen innebär också att samordna de olika parterna och se till att projekt och betalningsplaner följs.	590	400

Databearbetning	Startar:2020-10-15 Slutar:2022-10-31	Bearbetning av all Sentinel-1 data över Sverige, med ett resultat på runt 10 miljarder mätpunkter.	7000	
Validering av deformationsdata	Startar: 2021-01-01 Slutar:2022-10-31	Syftar till att georeferera och validera deformationsdata (från PSInSAR) bland annat med hjälp av Lantmäteriets nationella nät av permanenta GNSS-stationer (efter analys av data från stationerna tillhandahålls positioner och hastigheter i tre dimensioner med hög noggrannhet). Här kommer en post-doc att grundligt utvärdera deformationsdata och bekräfta dess giltighet och förbättringspotential. Utvärderingen kommer att baseras på jämförelser med data från GNSS, transpondrar, reflektorer, meteorologiska mätstationer och fältbesök.	3000	4500
Geotekniska applikationer	Startar:2021-01-01 Slutar:2022-10-31	Syftar till att utvärdera hur deformationsdatan kan användas för kartläggning av skredrisker, inom bygg och underhållsprojekt och uppdatering av geologiska underlag som används vid skredriskkartläggningar.	700	1000
Klimatanpassning	Startar:2021-01-01 Slutar:2022-10-31	Syftar till att sprida den öppna deformationsdatan till aktörer som arbetar med klimatanpassning som länsstyrelser, kommuner, näringsliv, samhällsaktörer med mera och arbeta aktivt med att ta in deras behov och de användningsområden som de ser.	140	200
Samhällsnytta/Användarbehov	Startar:2021-01-01 Slutar:2022-10-31	Syftar till att sprida den öppna deformationsdatan och användarbehoven kring dessa i dialog med andra aktörer så som privata användare, kommuner, näringsliv, teknikkonsulter, samhällsaktörer med	700	1000

		mera. I dialog med intressenterna ska olika applikationsområden tas fram och samhällsnyttan kvantifieras		
Sekretess och exportkontroll	Startar: 2021-01-01 Slutar: 2022-12-31	FOI kommer att sammanfatta regelverket kring sekretess och exportkontroll med särskilt beaktande av försvarssekretess. Respektive myndigheter kommer även att bidra i klassificeringen av data utifrån ett sekretessperspektiv. Resultatet är en rekommendation hur data och resultat ska hanteras för att följa regelverket	200	150
Operationalisering /Överlämning	Startar:2021-06-10 Slutar:2021-12-15	Utredning av operationalisering av InSAR tjänst med nationell teckning. Utvärdera hur en nationell tjänst kan komplettera och dra nytta av den kommande europeiska markrörelsetjänsten.	300	400

7 Organisation och partners

Projektorganisationen utgår från myndighetssamverkan Copernicus. Inom myndighetssamverkan har en grupp, samordnad av Rymdstyrelsen, arbetat med en behovskartläggning och förutsättningar för en svensk nationell markrörelsetjänst. Den arbetsgruppen utgör basen för projektorganisationen.

Projektledning och samordning görs av Rymdstyrelsen, Tobias Edman och Björn Loven.

Kvalitetssäkring och validering görs av Chalmers, Leif Eriksson och Rüdiger Haas, och Lantmäteriet, Faramarz Nilfouroushan i samarbete med NGU, John Dehls.

Säkerhetskyddsanalysen genomförs och samordnas av FOI, Lars Ulander.

Geoteknisk analys och förutsättningar för användning inom detta är SGI:s, Godefroid Ndayikengurukiye, ansvar.

Klimatanpassning och möjligheter kring det arbetar alla med, men särskilt Lantmäteriet, Eva Ugglå och Rymdstyrelsen, Tobias Edman.

Samhällsnyttoanalys och informationsspridning är ett gemensamt ansvar som samordnas av Rymdstyrelsen, Tobias Edman och Björn Loven.

Styrgruppen består av representanter från Rymdstyrelsen, Trafikverket, Lantmäteriet, Norges geologiska undersökning och Chalmers. Referensgruppen kommer sättas samman med representanter från användarmyndigheter, Nationellt rymddatalabb och tekniska konsultfirmor.

Rapportering och handläggning mot Trafikverket sköts av Rymdstyrelsen, Tobias Edman och Björn Loven, och Trafikverkets handläggare, Erik Toller.

8 Jämställdhets-, genus- och mångfaldsaspekter

Alla roller är inte resurssatta, men vi eftersträvar en jämn könsfördelning utifrån den kompetens som finns tillgänglig. Vi anser också att det är viktigt att fördelningen sker inom alla nivåer i projektet.

Informationen är utan genusperspektiv, det är användningen som blir avgörande. I informationen om möjligheterna med markrörelsedata ska vi se till att den når ut till en så bred målgrupp som möjligt.

Öppen och tillgänglig information för alla. Fria och öppna data är en del i att stärka lokalsamhällen och viktigt i ett demokratiperspektiv.

9 Riskhantering

Miniriskmetod

Nr	Riskhändelse	Sannolikheten för att det inträffar Tal: S 1-5	Konsekvens av att det inträffar Tal: K 1-5	Riskfaktor (brutto) Summa : S*K	Åtgärdsförslag för att minska risk och lindra konsekvens	Ansvarig	Klart
1	Bristande upparbetning under 2020	2	3	6	Fokusera på samarbetsavtal och tidig databearbetning.	Rymdstyrelsen	(november)
2	Samarbetsavtal med Norge.	2	5	10	Avsätta tid för juristerna på respektive organisation kan fokusera på detta.	Rymdstyrelsen	(oktober)
3	Post-doc-rekrytering (rätt person plus corona)	2	4	8	1. Bred utlysning av tjänst 2. Ny utlysning om ingen lämplig postdoc kan anställas efter första utlysningen	Chalmers	1. Annonsering inom en månad från projektkontrakt signerats 2. Ny annonsering inom två månader efter ansökningsperiod för första annonsering gått ut.



4	Svårt att genomföra workshops under Corona-restriktioner	3	2	6	Arbeta med digitala lösningar.	Rymdstyrelsen	Mars 2021
5	Kapacitetsbrist i IT systemet	2	2	4	Öka serverresursen.	NGU	Klar vid behov
6	Samanhållning av projektet.	2	2	4	Myndighetssamverkan är en etablerad samarbetsplattform	Rymdstyrelsen	(december)
7	Långsiktig finansiering av fortsättning	3	3	9	Det ingår att ta fram en plan för operationalisering och där ingår finansiering.	Rymdstyrelsen	(mars 2022)

Sätt ett tal i intervallet: "liten 1 2 3 4 5 hög".

Riskbedömningen uppdateras löpande.

10 Kommunikation

Kommunikation och information om är en viktig del av genomförandet. Rymdstyrelsen kommer att sprida informationen om projektet via ordinarie kanaler på hemsidan, i sociala medier och genom nyhetsbrev om rymddata.

Vid framtagande av nyhetsmaterial för pressleaser med mera kommer det göras i dialog med Trafikverkets handläggare och redaktion. Om Trafikverket efterfrågar material för kommunikation så kommer det tas fram efter avstämning inom projektet och med Trafikverkets handläggare.

Deformationsdata kommer tillgängliggöras öppet för allmänheten på en dedikerad hemsida i likhet med den som finns i Norge, insar.no.

De workshops och användardialoger som kommer genomföras är även de en del i kommunikationsinsatsen som görs. Information kommer spridas till kommunikatörsnätverket i Myndighetssamverkan Copernicus. Det säkerställer att informationen sprids internt på berörda myndigheter, men också externt genom deras redan upparbetade kanaler.

Projektet har som mål att ta fram ett antal rapporter, dessa kommer både vara underlag för framtida beslut, men också medel att sprida information och kunskap från projektet genom.

De mer akademiskt vetenskapliga delarna av projektet kommer bidra med kommunikation kring forskningsämnet på vetenskapliga konferenser och i vetenskapliga publikationer.

Hela projektet kommer sammanfattas och rapporteras i ett slutseminarium med presentationer av de resultat som framkommit, möjligheterna med deformationsdata för samhällsplanering och övervakning av riskområden och infrastruktur med mera.

Utöver det så har Trafikverket rätt att göra resultaten tillgängliga för allmänheten genom offentligt framförande, spridning och offentlig visning.

Materialet kommer följa EU:s dataskyddsdirektiv GDPR.

11 Överlämning

Under projektet så kommer deformationsdata kontinuerligt att tillgängliggöras för intressenter, som en öppen tjänst. Datakvalitet kommer att studeras och utvärderas av Chalmers och resultaten kommer att publiceras.

Parallellt med datautvärderingen så kommer även de nationella behoven att kartläggas och resultaten från denna kartläggning kommer användas för att påvisa samhällsnyttan av tjänsten.

Myndighetssamverkan Copernicus tar över ansvaret för att arbeta vidare med operationalisering. Hur en operationalisering kommer att se ut och vilken eller vilka organisationer som ansvarar kommer att utredas under projektet.

12 Övrigt

Projektet är beroende av myndighetssamarbete både inom Sverige och med Norges geologiska undersökning i Norge.

13 Referenser

Följande dokument är bilagda ansökan:

Ansökan: Utvärdering och nyttoanalys av en rikstäckande InSAR-tjänst

Rapport: Beskrivning av behov och möjligheter med en nationell rymddatatjänst för att följa markrörelser i Sverige

Artikel: Analysis of Clay-Induced Land Subsidence in Uppsala City Using Sentinel-1 SAR Data and Precise Leveling,

Rapport: Mapping subsidence in an urban area with Differential InSAR and comparing with traditional methods

Examensarbete: Using-InSAR-to-detect-railway-deformations



Tobias Edman
08-40907780
tobias.edman@snsa.se

Delges:
Utbildningsdepartementet,
Myndighetssamverkan Copernicus

Beskrivning av behov och möjligheter med en nationell rymddatatjänst för att följa markrörelser i Sverige

-Rapport utarbetad inom ramen för myndighetssamverkan Copernicus

Författare:

Tobias Edman, Rymdstyrelsen;
Leif Eriksson, Chalmers;
Martin Lidberg, Faramarz Nilfouroushan, Per-Anders Olsson och Eva Ugglå,
Lantmäteriet;
Godefroid Ndayikengurukiye, Statens geotekniska institut;
Anna Hedenström, Sveriges geologiska undersökning;
Lars Ulander, Totalförsvarets forskningsinstitut, samt
Ivar Andersson och Erik Toller, Trafikverket.



Innehåll

Sammanfattning	3
Inledning	3
Bakgrund	4
Copernicusprogrammet	4
Markrörelser med radar	5
Internationell användning av InSAR.....	5
InSAR i Norge.....	5
InSAR i Danmark.....	5
InSAR i EU-länder	6
Europeisk markrörelsetjänst inom Copernicus.....	6
InSAR i Sverige	7
Svensk myndighetsanvändning	9
Sveriges geologiska undersökning (SGU)	10
Lantmäteriet	10
Trafikverket.....	10
Chalmers	12
Statens geotekniska institut (SGI).....	12
Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI).....	13
Säkerhet.....	13
Nordiskt samarbete.....	13
Slutsatser.....	15
Väg framåt.....	16



Sammanfattning

Behovet av en svensk nationell markrörelsetjänst har utretts inom ramen för Myndighetssamverkan Copernicus.

Det svenska myndighetsbehovet för en nationell markrörelsetjänst är mycket stort och utredningen föreslår att ett forskningsprojekt genomförs för att utreda och validera och kvalitetssäkra användning av en sådan tjänst. Utredningen föreslår också att förutsättningarna för att utveckla och driftsätta en nationell tjänst utreds tillsammans med övrig nationell användning av Copernicusdata.

Det finns stora möjligheter för effektivisering av övervakning och planering av stora infrastrukturprojekt, i arbetet med klimatanpassning och för stadsplanering i stort med mätning av markrörelser från satellit. Sveriges geografiska läge med en lång gemensam gräns mot Norge och den norska förmågan till dataanalys gör ett samarbete med Norge för att utreda kvalitet och användning av en svensk markrörelsetjänst mycket fördelaktigt.

Inledning

Det finns en stor potential för att information om markrörelser kan bli ett viktigt underlag i arbetet med klimatanpassning i både kust och inland, att det kan användas för att minska riskerna med- och fokusera underhållet av infrastruktur och kraftverksdammar mer effektivt och att det kan användas för att förbättra statsbyggnadsprocessen genom att tidigt identifiera områden med pågående sättningsproblematik.

I Sverige används information om markrörelser från rymddata för att identifiera sättningar i arbetet med Västlänken i Göteborg, för skredförebyggande åtgärder i längs Göta älv och för uppföljning av markrörelser i samband med olika infrastrukturprojekt. LKAB har använder InSAR för att följa de sättningar som följer på uttaget av malm i Kirunagruvan.

Norges geologiske undersøkelse har sedan 2009 arbetat med detektion av markrörelser baserade på data från radarsatelliter¹. Sedan 2019 har rikstäckande data med information om markrörelser på millimeternivå i mer än 3,5 miljarder² punkter tillgängliggjorts som öppen data i Norge³. Det har lett till stor användning av informationen utanför det ursprungliga användningsområdet som var

¹ <https://www.romsenter.no/no/content/download/10726/76710>

² Personlig kommunikation

³ <https://InSAR.ngu.no/>



skreddetektion. Nu använd information för bland annat stadsplanering och för att följa upp problematik kring sättningsskador med mera.

Bakgrund

Genom EU-medlemskapet och med engagemanget i det europeiska rymdorganet (ESA) är Sverige med och finansierar utveckling, drift och underhåll av Copernicusprogrammet⁴. Genom programmet får Sverige tillgång till data som kan användas för att skapa samhällsnyttig information. Bäst utdelning på de resurser som investerats får vi om data kan användas för att effektivisera statsförvaltningen och bidra till ökad konkurrenskraft för svensk industri och tjänstesektor.

Enligt ”En strategi för svensk rymdverksamhet”⁵ skall Rymdstyrelsen i samråd med andra berörda myndigheter arbeta för att information om och data från satellitnavigering och jordobservationer sprids till svenska användare. Myndighetsdialogen kring att ta fram en svensk tjänst för tillgängliggörande av data kring markrörelser är en del i myndighetssamverkan Copernicus och arbetet med att nå regeringens mål kring ökad användning av rymddata.

Copernicusprogrammet

Copernicus är EU:s jordobservationsprogram för miljö och säkerhet och består av element som hanterar både rymdinfrastruktur och dataexploatering. Copernicus har sitt ursprung i Bavenomanifestet från 1998 och etablerades 2010 med EU:s förordning 911/2010 som jordobservationsprogrammet Global övervakning för miljö och säkerhet (GMES) som sedan bytte namn till Copernicus i och med EU:s förordning 377/2014 om etablering av Copernicusprogrammet. Copernicus består av en rymddel med satelliter och tillhörande marksegment, modelldata och tjänster baserade på rymddata och data från mätstationer i marin miljö och på land.

I nuläget omfattar Copernicusprogrammet fyra satellitfamiljer, Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 och Sentinel 5, där varje familj består av en eller två satelliter samt planer på satelliter som ska ta över när de första nått sin tekniska livslängd. Till dessa skall det läggas ytterligare två satellitfamiljer, Sentinel 4 och Sentinel 6, som ännu inte kommit upp i omloppsbana.

⁴ <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus>

⁵ Regeringens skrivelse 2017/18:259

⁶ http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Deal_sealed_for_new_Sentinel-1_satellites



De olika satelliterna har sensorer som är utvecklade för att samla in olika information om jorden. Sentinel-1A och Sentinel-1B är utvecklade för att samla in information med aktiv radar. Det möjliggör analys av skillnader i ett objekts position på millimeternivå, se InSAR nedan. Efterföljarna Sentinel-1C och Sentinel-1D kommer att förlänga den operativa övervakningskomponenten i Copernicus åtminstone till slutet av 2030⁶.

Markrörelser med radar

InSAR är en teknik som mäter fasförskjutning mellan två högupplösta radarbilder. Det ger förmåga att mäta förändringar på millimeternivå vilket har flera tillämpningar. Ett exempel är att man kan följa förändringar i befintlig infrastruktur eller marksättningar vid nya infrastrukturprojekt. InSAR kan också användas för att generera digitala höjddata. En global DEM (digital höjdmmodell) finns tillgänglig från NASA (SRTM GL1) med 30 meters upplösning. Det finns även en kommersiell DEM med 12 m grid från den tyska TanDEM-missionen. Tekniken började utvecklas under 1980-talet och har använts från rymden sedan 1990-talet. Analysmetodiken inkluderar ett flertal korrekationer, bland annat för atmosfärens fuktighetsvariationer eftersom det ger fördröjning av mikrovågorna.

Internationell användning av InSAR

InSAR i Norge

Norges geologiske undersøkelse (NGU) har med stöd av Romsenter tagit fram en norsk InSAR-tjänst⁶, som är fritt tillgänglig, och dagsläget innehåller 3,5 miljarder punkter med tidserier på markrörelser för varje punkt. Informationen och metoden bygger på de tidiga projekt, med data från de Kanadensiska Radarsat-satelliterna, som initierades 2009, men analysen bygger nu i sin helhet på data från Sentinel-1A och B från 2015 och fram till nu. Informationen är ursprungligen framtagen som ett kostnadseffektivt sätt att övervaka fjällsidor med stora rörelser, som ett skydd mot skred och tsunamis, men används allt mer inom stadsbyggnad för att identifiera områden med risk för eller pågående sättningskador.

InSAR i Danmark

Användningen av InSAR i Danmark började redan 2005 med ESA-projektet Terrafirma, en del av GMES, som senare blivit Copernicus. Ett av delprojekten i Terrafirma var en pilotstudie kring absolut markrörelse med ett studieområde på den danska västkusten med fokus på klimatanpassning i kustzonen. Terrafirma

⁶ <https://www.ngu.no/emne/InSAR-norge>



slutrapporterades 2011⁷ och ett flertal danska myndigheter fortsatte att arbeta med möjligheterna kring InSAR för klimatanpassning, stadsplanering och infrastrukturövervakning. För att ta arbetet vidare genomförs ett samarbete med NGU där Jylland och Fyn kartläggs⁸. I samband med detta på InSAR data 2017 genomförs en användarundersökning med workshops och intervjuer.⁹ 2018 upphandlas en InSAR-tjänst för hela Danmark och en ny upphandling är tänkt att genomföras under 2021.

InSAR i EU-länder

Förutom de norska och danska tjänsterna finns det operativa tjänster i de italienska regionerna Toscana, Aostadalen och Venetien; i Tyskland och det kommer inom kort lanseras en tjänst i Nederländerna¹⁰. Polen är i planeringsprocessen med andra länder som förväntas följa. Dessa tjänster kommer både att dra nytta av och komplettera en europeisk markrörelsetjänst genom att den kan tillhandahålla en grundläggande deformationskarta och bidra till att etablera normer och standardisera nationella servicekomponenter så mycket som möjligt. Det kan främja användningen av deformationsdata av både offentliga användare och kommersiella leverantörer av efterföljande tjänster.

Europeisk markrörelsetjänst inom Copernicus

European Ground Motion Service (EGMS)¹¹¹² syftar till att tillhandahålla konsekvent, regelbunden, standardiserad, harmoniserad och tillförlitlig information om naturliga och antropogena markrörelsefenomen över Europa och över nationella gränser, med millimeternoggrannhet.

Huvudsyftet med EGMS är att mäta markförskjutningar, inklusive jordskred och ras, samt deformation av infrastruktur. Markrörelsen kommer att härledas från tidsserieanalyser av Copernicus Sentinel-1-data med InSAR baserad på stabil- och spridd reflektans. Detta kommer att kompletteras med globala navigationssystem och andra observationer in situ.

EGMS kommer också att tillhandahålla verktyg för visualisering, interaktiv undersökning av data, implementerade som tjänster.

⁷https://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/TF_Stage2_Final_Report_v5_of_27th_Jan_2011.pdf

⁸ Personlig kommunikation.

⁹ https://sdfe.dk/media/2918943/vertikale-landbevaegelser-brugerbehovsundersoegelse_endelig.pdf

¹⁰ <https://doi.org/10.3390/rs12122043>

¹¹ <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/european-ground-motion-service>

¹² <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-3148.html>



EGMS kommer att komplettera nationella befintliga och nya initiativ och fungera som en grund för mer djupgående nationella och regionala markrörelsestudier och samarbeten. EGMS kommer att ge ett bredare sammanhang och minskar kostnaderna för tillgång till markrörelsedata genom stordriftsfördelar.

InSAR i Sverige

I Sverige har InSAR använts i ett antal projekt och det har gjorts ett flertal studier kring användningen av InSAR för observationer av markrörelser.

SGI utredde användningen av InSAR för att mäta markrörelser i urban miljö i projekt från bland annat 2008 och 2015^{13,14} och i ett projekt kring allmän uppföljning av sättningar utifrån olika datakällor 2015¹⁵. I arbetet med Västlänken i Göteborg och sättningsproblematiken i centrala Göteborg har InSAR visat sig ha stort värde och hösten 2019 handlade SGI upp en tjänst för att följa markrörelser i Göteborgsområdet.

Metria undersökte möjligheterna att övervaka infrastruktur i ett projekt 2011¹⁶, med slutsatsen att det fanns möjligheter, men att data inte fanns tillgänglig på det sätt som skulle krävas och att det inte fungerar för vägar av alla storlekar.

Energiforsk redovisade ett projekt kring övervakning av kraftverksdammar i en rapport 2015¹⁷, med slutsatsen att dammövervakning med InSAR möjliggör kontinuerlig och precis övervakning av rörelserna i dammkroppen och att de osäkerheter som uppstår när data samlas in sällan och av olika företag och personer minskar betydligt med en objektiv tjänst som den från ett rymdsegment.

LKAB har använt InSAR för att följa markrörelserna i anslutning till Kirunagruvan sedan 2009¹⁸ och har det som en del i arbetet med att förstå hur uttaget av malm djupt ner i orterna påverkar sättningar och markrörelser i marknivå.

¹³ <https://www.swedgeo.se/globalassets/publikationer/varia/pdf/sgi-v610.pdf>

¹⁴ <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1300107/FULLTEXT01.pdf>

¹⁵ <https://www.swedgeo.se/globalassets/publikationer/sgi-publikation/sgi-p23.pdf>

¹⁶ <https://www.rymdstyrelsen.se/innovation/beviljade-bidrag/anvandardelen-2011/matning-av-vagrorelser- fran-radarsatellitbilder/>

¹⁷ <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/18724/InSAR-on-embankment-dams-energiforskrappport-2015-212.pdf>

¹⁸ https://doi.org/10.36487/ACG_rep/1815_51_Sjoberg



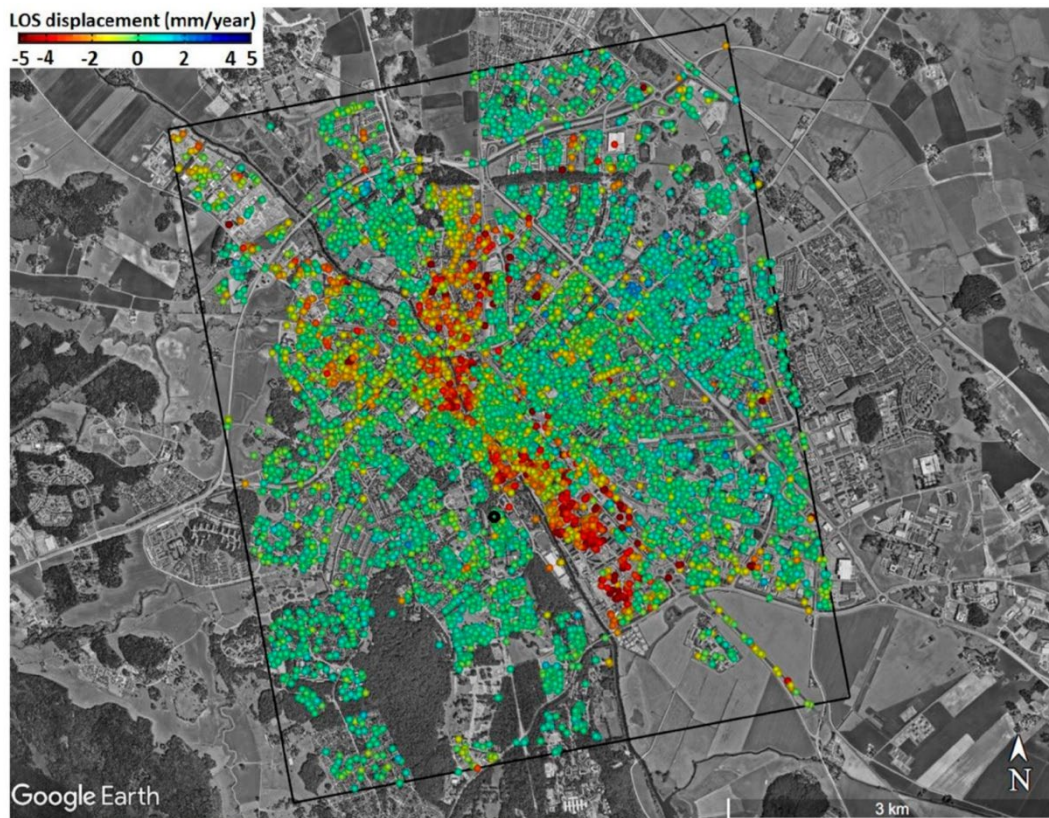
Trafikverket använder sig av InSAR för att följa upp sättningsmönster i särskilt utsatta områden, främst i Västsverige, men också i specifika projekt som vid skredsäkring av malmbanan.

Potentialen för marksättningsmätningar med InSAR i svenska städer, har undersökts i två nya forskningsarbeten av Fryksten och Nilfouroushan (2019) och Gido, et al. (2020). I de olika studierna producerades deformationskartor, och etablerades individuella mätpunkter för Uppsala respektive Gävle. Med hjälp av InSAR data identifierades platser som har sjunkit med upp till 6 mm/år under de senaste 5 åren (figur 1). Fritt tillgängliga Sentinel-1-data användes i båda studierna och tidsserier av landrörelser producerades för att följa det temporala beteendet hos markdeformationsprocesser associerade med till exempel jordtyp (lera i fallet Uppsala). InSAR-resultaten i båda studierna validerades med hjälp av avväggningsdata och överensstämde mycket väl med dessa.¹⁹

¹⁹ Fryksten J., Nilfouroushan F., 2019, Analysis of Clay-Induced Land Subsidence in Uppsala City Using Sentinel-1 SAR Data and Precise Leveling, *Remote Sensing*, 11, 2764, <https://doi.org/10.3390/rs11232764>

och

Gido N., Bagherbandi M., Nilfouroushan F., 2020, Localized subsidence zones in Gävle City detected by Sentinel-1 PSI and Leveling data, *Remote Sensing*, 12(16), 2629; <https://doi.org/10.3390/rs12162629>.



Figur 1. Markrörelser i Uppsala på mellan 5 och -5 mm/år uppmätta med Sentinel-1 mellan mars 2015 och april 2019.

Användningen av InSAR kan inte ses som allmänt spridd i Sverige. Den sker till stora delar på projektbasis i geografiskt avgränsade områden. Studierna och användningsexempel ovan och användningen i andra länder visar att det finns ett behov och en tydlig nytta med en svensk nationell tjänst.

Svensk myndighetsanvändning

Rymdstyrelsen samordnar arbetet inom Myndighetssamverkan Copernicus där svenska myndigheters behov av information och utveckling baserade på data och tjänster från Copernicusprogrammet identifieras och diskuteras. Information tar Rymdstyrelsen vidare till de möten inom ESA och EU där myndigheten representerar Sverige. Rymdstyrelsen tar också infinitiv till forskning och utvecklingsarbete, inom både nationella och internationella samarbeten, för att möta myndighetsbehov inom bland annat fjärranalys. Det finns idag inget formellt arbete med InSAR, men det pågår en översyn av arbetsformerna med förslag på hur myndighetssamverkan skall formaliseras när det gäller organisation och arbetssätt.



Sveriges geologiska undersökning (SGU)

SGU ansvarar för frågor som rör landets geologi. Till SGUs uppgifter hör att ta fram och tillhandahålla geologisk information för användning inom bland annat samhällsplanering och klimatanpassning, mineralnäring och för arbete med Sveriges miljömål. SGU är också målsansvarig myndighet för miljökvalitetsmålet Grundvatten av god kvalitet.

I dagsläget finns det ingen användning av InSAR på SGU, men det finns intresse av att utveckla arbetssätt där InSAR kan användas för att förbättra geologiska underlag och karteringar. Nyttan för SGU är att vi kan utveckla våra geologiska planeringsunderlag för ras, skred och erosion. InSAR data skulle förbättra SGUs underlag för markstabilitet både på land och i kustzonen. InSAR kan också användas vid kartläggning och övervakning av grundvattentillgångar.

SGU kan bidra med geologisk expertkunskap om regionala geologiska förutsättningar som hjälp vid tolkning av data och utvärdering av resultaten.

SGU ser en stor samhällsnytta med en InSar tjänst för markrörelser i Sverige.

Lantmäteriet

Lantmäteriets roll i en svensk InSAR-tjänst är främst som möjliggörare och tillhandahållare av infrastruktur. Lantmäteriet bräknar vattenångsparametrar för troposfären med hjälp av globala satellitnavigeringssystem GNSS varje timme vilket eventuellt kan vara användbart för atmosfäriska korrigeringar i InSAR-beräkningar.

Den geodetiska verksamheten på Lantmäteriet med det svenska nätet av permanenta GNSS-stationer inom Swepos kan både bidra till en svensk InSAR-tjänst genom långa tidsserier av data och noggrann inmätning, men också dra nytta av mätningarna genom att kartlägga lokala markrörelser och för att identifiera instabila områden. Med GNSS-tidsserier och deformationsmodeller kan Lantmäteriet bidra till kalibrering av InSAR och vertikal deformation som i sin tur kan bidra till mindre osäkerhet i resultaten i InSAR-tjänsten.

I nuläget har Lantmäteriet tre aktiva transpondrar och kommer också, som ett försök inför en eventuell vidare utbyggnad, att installeras fyra passiva reflektorer. Dessa fungerar som permanenta reflektorer och kan vara användbara för kalibrering av InSAR-deformationskartor och tidsserier eftersom de är samlokaliserade med GNSS där absolut rörelse finns uppmätt.

Trafikverket

Inom Trafikverkets uppdrag ingår det bland annat att förvalta 98 500 km statliga vägar och 14 200 spårkilometer av Sveriges järnvägsnät. Information om markrörelser är viktiga både vid nyanläggning, men också för att effektivisera och förbättra underhållet på befintlig väg och järnväg. En svensk InSAR-tjänst skulle vara en fantastisk resurs.



InSAR har använts med goda resultat inom Trafikverkets arbete med underhåll och investeringar inom infrastruktur, mest inom järnväg. Det första järnvägsprojektet inom Trafikverket som nyttjade InSAR var Västlänken som har mätningar från 2015. Detta kompletterades senare med att även vara underlag för en sättningsutredning för bandel 626 (Lindome – Källered), båda dessa utredningar använde TerraSARx mätningar. Senare har även mätningar från Sentinel-1 använts för uppföljning av en ombyggnation vid Opphemsosse och för släntövervakning vid norra Malmbanan.

I alla dessa fall har användandet av InSAR visat en god inblick till markrörelserna. Genom att använda InSAR har rätt åtgärder kunnat vidtas och kostsamma utredningar kunnat undvikas.

För tillståndövervakningen av infrastruktur finns det stor potential med användandet av InSAR. Dels skulle en InSar-tjänst göra det möjligt att inte bara se markrörelser för vägar och järnvägar utan också i områden runt om. Detta möjliggör förmågan att vida rätt åtgärder och att få en klar bild av grundorsakerna till markrörelserna. Vidare skulle även en InSar-tjänst ge tillgång till mätdata som idag inte är möjligt. Genom de mätintervall och den täckningen som InSar har skulle det vara möjligt att få en bättre tillståndsbedömning för hela det svenska väg och järnvägsnätet, både i storstäder och landsbygd.

En nationell InSAR-tjänst skulle även möjliggöra en bättre projektering. Genom att ha bättre förutsättningar för att dimensionera rätt kan dyra skyddsåtgärder besparas och rätt skyddsåtgärder på rätt plats införas. Att i förväg ha kännedom om markrörelserna möjliggör att på ett effektivt sätt gallra och sätta in mer precisa mätningar i områden med extra behov. Tjänsten skulle även användas för att undvika oskäligen skadestånd till fastighetsägare som haft en sättningsproblematik redan innan ett ny-/ombyggnadsprojekt, där byggherren annars kunde blivit skadeståndsskyldig. Innan ett bygge inleds kan även tillsynsmyndigheter och tredje man informeras om historiska sättningar. Deformationsdata skulle även vara en viktig komponent i kontrollprogramverksamheten och efterlevnad av villkorsdomar.

En nationell InSAR-tjänst skulle göra det möjligt för betydligt fler att få tillgång till deformationsdata. Även mindre projekt som inte har möjlighet eller finansiering skulle kunna nyttja resursen. Deformationsrörelser är en värdefull insikt för både planering av åtgärder och uppföljning av beslut, för såväl stora som små projekt.

Det finns även en möjlighet att genomföra utredningar kopplat till ett förändrat klimat där bedömningar på grundvattennivåer och sättningar kan göras på en nationell nivå. Slutligen skulle även en nationell tjänst bidra med återkoppling av valda åtgärder.



Sammanfattningsvis har InSAR använts, och har potential att användas, för följande tillämpningar inom Trafikverket; Tillgångsförvaltning med övervakning av slänter, sättningar, tjälrörelser, ravinbildning, meandrande vattendrag och erosion; Omgivningspåverkan vid byggnation och utnyttjande i kontrollprogram, projektering av anläggningsprojekt och vid uppföljning efter färdigställande av investering eller reinvestering

Chalmers

Chalmers har bedrivit forskning kring SAR kontinuerligt sedan 1980-talet. En stor del har varit inriktad på användningen av InSAR i olika applikationer, exempelvis för uppskattning av trädhöjder, biomassa i skog, havsströmmar, stabilitet av havsis och volym av isberg. Teorin för SAR och InSAR ingår i kurser som ges på masternivå på Chalmers.

För Chalmers del är det intressant att bidra med metodutveckling, men också med kurser om hur en InSAR-tjänst kan användas, vad informationen egentligen betyder och hur den kan analyseras och användas.

Statens geotekniska institut (SGI)

Statens Geotekniska Institut har ett regeringsuppdrag att bland annat förebygga jordskred, ras och stranderosion som expertmyndighet i frågor om byggande och markanvändning. Detta görs genom att minimera de geotekniska riskerna för ras och skred och effekten av sådana naturhändelser.

Stränder är känsliga områden när det gäller stabilitet. De skadas av erosion som måste förebyggas med väl avvägd samhällsplanering och genom erosionsbegränsande och återställande åtgärder i händelse av att bebyggelse, infrastruktur och andra skyddsvärda objekt eller områden är hotade.

I ett projekt i Göteborg arbetar SGI med ett liknande material som i den Norska InSAR-tjänsten över ett område som täcker Göteborg och Södra Bohuslän. SGI ser en stor nytta med en InSAR-tjänst för att underlätta och förbättra arbetet med skred och sättningsproblematik i Sverige. I ett tidigare projekt har SGI och Trafikverket med hjälp av Rymdstyrelsens finansiering analyserat lämplighet av satellitmätningar med TerraSAR tandem-X i jämförelse med traditionella markmätningar. Slutsatsen av projektet var att InSAR kan vara ett bra verktyg för att analysera markrörelser i ett markstabilitets perspektiv.

En nationell tjänst som analyserar markrörelser och som kan uppdateras med en rimlig frekvens skulle vara av mycket hjälp i SGI:s dagliga arbete. Den kan möjliggöra en bättre skredbevakning där SGI får signaler på vilken risk för ras och skred som föreligger för att kunna undersöka vidare med noggrannare analys. Strandererosionsövervakning skulle ha stor nytta av en markrörelsetjänst inte minst i Göta älvdalen. SGI ser en stor nytta med en InSAR-tjänst för att underlätta och förbättra arbetet med skred- och rasbevakning, övervakning av stranderosion, analys av stabilitet i bergssluttningar och stabilitet i fiberbankar.



Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI)

Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI, har till uppgift att bedriva forskning, metod- och teknikutvecklingsarbete samt utredningsarbete för totalförsvaret och till stöd för nedrustning, icke-spridning och internationell säkerhet. FOI har som myndighet inga operativa uppgifter utan stödjer andra myndigheter i sin myndighetsutövning.

FOI har uppdrag från försvarsmakten där omvärldsbevakning av ingår. För FOI:s del handlar det mycket om att hålla sig ajour om vilka analyser som skall göras och hur det påverkar behovet av sekretessbedömning. Ett prioriterat område som bevakas av FOI är SÖR (spaning och övervakning från rymden) där syntetisk aperturradar (SAR) är en av flera viktiga sensortekniker. Teknikområdet utvecklas för nuvarande mycket snabbt, fler nationer får tillgång till kvalificerade SAR-data och flera kommersiella aktörer sänder nu upp SAR-satelliter och erbjuder högupplösande SAR-data.

Sammanfattningsvis har FOI ett intresse av att delta i sekretessbedömningar som berör SAR/InSAR, samt att följa och eventuellt delta i utvecklingen av tekniken.

Säkerhet

De myndigheter som deltagit i utredningen har identifierat ett behov av en säkerhetsanalys och en fortsatt utredning av säkerhetsaspekterna av en svensk InSAR-tjänst. Det bör göras inom ramen för det föreslagna forskningsprojektet.

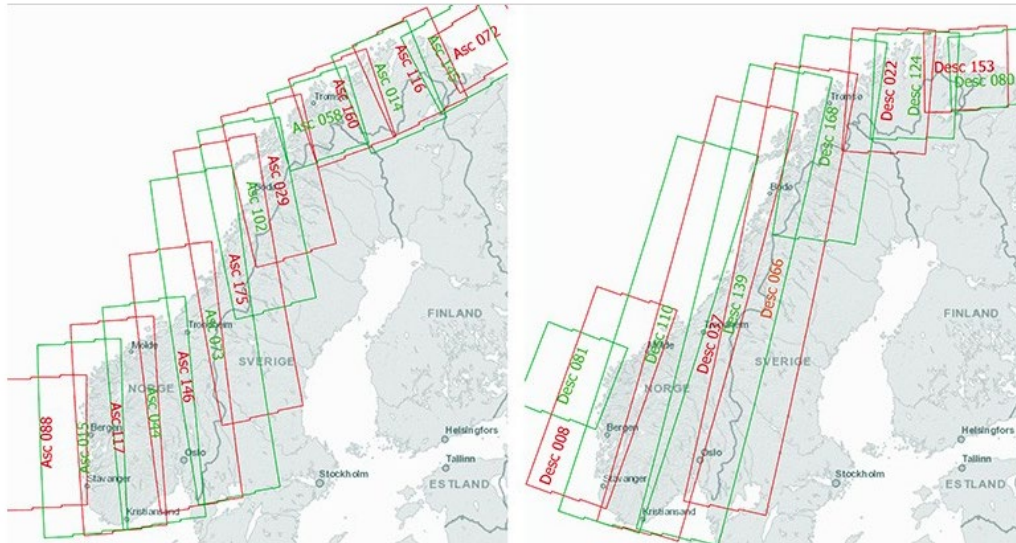
Copernicus data och tjänster är fria och öppna. Data tillgängliggörs för att möta globala utmaningar, möjliggöra innovation och ge ökad samhällsnytta genom effektivisering med hjälp av dataexploatering och digitalisering. Copernicusdata och metoder för analys är globalt tillgängliga. Avsaknaden av en nationell tjänst kan ge svenska aktörer ett kunskapsunderläge i förhållande till globala aktörer. Den planerade EGMS-tjänsten kommer att ge samma information som en nationell tjänst, men med en annan tidlig upplösning och troligtvis nyttja andra kalibrerings och valideringsmetoder än denna.

När samhällskritiska funktioner som övervakning av infrastruktur och klimatanpassningsåtgärder baseras på en informationsmängd, som InSAR, blir det viktigt att vidmakthålla och säkra informationstillgången.

Nordiskt samarbete

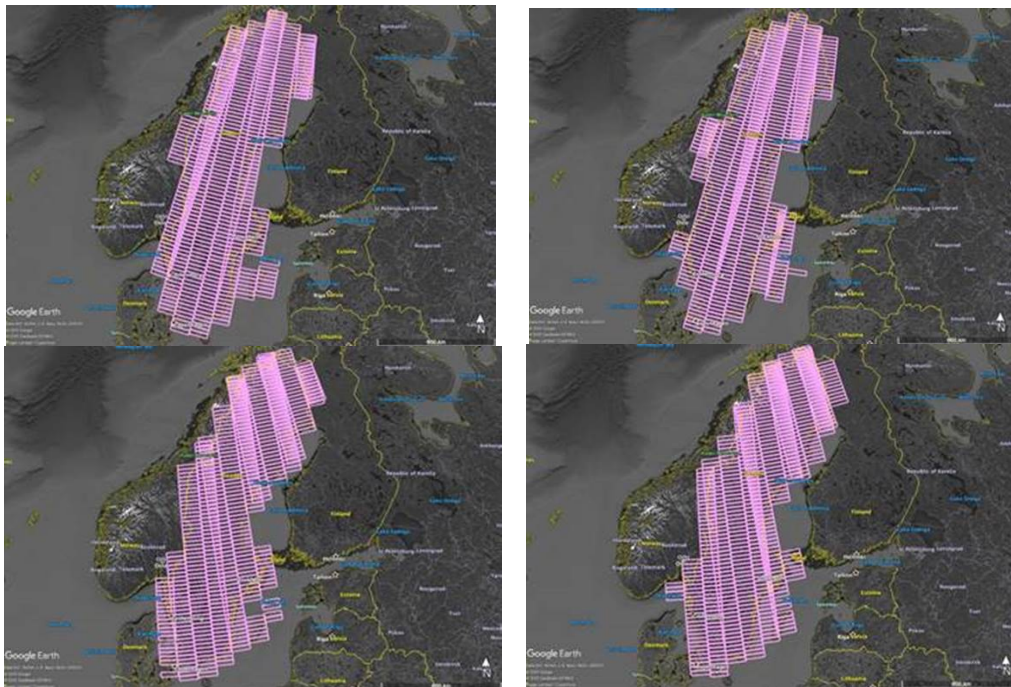
Utifrån Sveriges geografiska läge, med en lång gemensam gräns mot Norge och stora överlapp mellan Norge och Sverige vad det gäller användbara satellitscener

(se Figur 1). Det finns stor potential till synergieffekter eftersom Sverige och Norge med fördel kan bearbeta data i en gemensam process. Metoderna och förmågan finns utvecklad i Norge och ett samarbete kring den förmågan ger kostnadsbesparingar och samhällsnytta samtidigt som Sveriges geografiska läge i förhållande till Norge tas tillvara av båda parter.



Figur 2. Sentinel-1 scener som används vid bearbetning av Sentinel-1 A och -B för InSAR Norge. Den högra bilden visar nedåtgående datasett och den vänstra uppåtgående. Notera att överlappen mellan Norge och Sverige är stora när det gäller vilka scener som skall analyseras.

En svensk InSAR-tjänst kommer bestå av data från uppåtgående och nedgående stråk som redan ingår i en den norsk tjänst (Figur 2). En gemensam bearbetning skulle utöka mängden data och scener som bearbetas, men inte beröra fler stråk. Bearbetning skulle också bli sömlös, förutom delar av nordligaste Finland där en glipa bildas mellan norska och svenska data, i övrigt kommer datasetet i stort sett begränsas av hav åt alla håll.



Figur 3. Med Sentinel 1 A och -B kan Sverige täckas med fyra täckningar, två nedåtgående och två uppåtgående.

Det finns också stora samordningsvinster när det gäller dataanalys. Terräng, klimat och naturförutsättningar är likartade i stora delar av Sverige, Norge och Finland, även om Norge har speciella förutsättningar i fjordlandskapen. Södra Sverige och Danmark är också likartade. Inom sektorer som energi, skogsbruk, jordbruk och klimatanpassning är problem och möjligheter till stora delar de samma mellan länderna, även om det naturligtvis skiljer sig åt beroende på geografiskt läge. Med gemensamma data och samarbete kring hur information tas fram och vidareförädlas finns det stora möjligheter till synergieffekter. Ett samarbete kring den grundläggande datamängden tar tillvara på Sveriges och Norges geografiska läge. Nordiskt samarbete kring den tillgängliggjorda informationen gör det också möjligt att funktionalitet utvecklas av tjänsteutvecklare i ett av länderna för att sedan användas i ett annat, vilket leder till en större marknad för tjänsteleverantörerna i norden och ökad möjlighet till global konkurrenskraft.

Slutsatser

De studier med användarupptag som har gjorts i Sverige och andra länder visar på ett antal olika saker att ta hänsyn till. Dels är det tydligt att det finns ett stort intresse av möjligheterna till yttäckande och noggrann analys av markrörelser. Det



är också tydligt att det finns osäkerhet om vilken konkret nytta som InSAR kan ge och hur man skall kunna arbeta med den nya informationen och vilka krav som det kommer ställa på den egna verksamheten.

De behov som framställs och utvecklas i rapporter och projekt i olika länder hanterar samma frågor och ämnesområden. Det finns därför inte anledning att i ett tidigt skede kartlägga alla behov ur ett svenskt perspektiv. Det är bättre att sammanställa och diskutera hur de behov och möjligheter som har identifierats av andra kan appliceras på svenska verksamheter. I den danska studien som presenteras ovan listas de viktigaste områdena ur ett danskt perspektiv som utökad information om bärighet inför stora infrastrukturprojekt, övervakning av hamnanläggningar, stöd för klimatanpassning i framför allt kustzonen och information för underhåll och nybyggnad av ledningsnät om man kompletterar med svenska och norska erfarenheter så kan man lägga till övervakning av kraftverksdammar och instabila bergsidor samt uppföljning av sättningar i stadsmiljö. Utmaningarna är likartade och data är desamma, det är därför viktigt att arbeta internationellt med frågan och att dela med sig av de erfarenheter som man har.

Potentialen för ett samarbete med Norge är stor, både utifrån det geografiska läget, men också utifrån likartade utmaningar och problemområden. I södra Sverige delar man problem med Danmark med behov av klimatsäkring av kustområden och områden med kraftig erosion. Det kan därför finnas anledning att etablera ett samarbete och erfarenhetsutbyte med danska myndigheter också.

Väg framåt

Behovet av InSAR-data och möjligheterna med nyttjandet av densamma behöver utredas. Kvaliteten och noggrannheten i InSAR data för svensk användning behöver också klargöras.

Möjligheterna till samarbete med Norge för att utnyttja Sveriges geografiska läge och möjliggöra ett samarbete kring användning av InSAR-data i Norden behöver ytterligare utredas.

Det svenska myndighetsbehovet av InSAR-data bör fortsatt hanteras inom ramen för Myndighetssamverkan för Copernicus.

Framtida drift och ansvar för en eventuell nationell tjänst behöver utredas, lämpligen som en del i arbetet med Myndighetssamverkan Copernicus och innefatta ett helhetsgrepp kring användning och analys av Copernicusdata i Sverige, inklusive säkerhetsaspekter kring användandet.



Synergier med den kommande europeiska markrörelsetjänsten bör utredas och tas tillvara.

**Validation of the InSAR-Sweden product — Technical report
(Work package 3)**

Project Name: Evaluation and benefit analysis of a nationwide InSAR service

SNSA project number: Dnr. 2020-00219

Authors:

Mehdi Darvishi and Leif Eriksson

Department of Space, Earth and Environment,
Chalmers University of Technology,
41296 Gothenburg, Sweden



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Date: 2022-10-27

Table of contents

Introduction.....	4
Accuracy assessment strategy	6
1. Results cross-comparison.....	7
1.1. InSAR-Sweden vs. in-situ measurements.....	7
1.1.1 Stockholm case study.....	7
1.1.2 Gothenburg case study	9
1.1.2.1. Survey points vs. InSAR-Gamma and InSAR-Sweden points	10
1.1.2.2. InSAR-Sweden vs. InSAR-Gamma points	11
1.1.3. Kiruna case study	13
1.1.3.1. 2D GNSS points vs. InSAR-SBAS and InSAR-EGMS points	13
1.1.3.2. LOS InSAR-SBAS vs. LOS InSAR-Sweden (PSI)	15
2. InSAR atmospheric correction.....	17
2.1. InSAR-based tropospheric correction.....	17
3. Discussion.....	18
5. Presentations at national and international conferences /meetings	23
6. References.....	24
A. Appendix.....	26
A.1. Stockholm case study.....	26
A.1.1. Survey points vs. InSAR-Sweden points	26
A.2. Gothenburg.....	26
A.2.1. Survey points vs. InSAR-Sweden and InSAR-Gamma points.....	26
A.2.2. InSAR-Sweden points vs. InSAR-Gamma points.....	27
A.3. Kiruna.....	29
A.3.1. 2D GNSS-LKAB points vs. InSAR-EGMS vs. InSAR-SBAS points	29
A.3.2. LOS InSAR-Sweden points vs. LOS InSAR-SBAS points	31

List of acronyms and abbreviations

DInSAR	Differential SAR interferometry
EGMS	European Ground Motion Service
ECMWF	European Center for Medium-Range Weather Forecasts
GACOS	Generic Atmospheric Correction Online Service for InSAR
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar
LOS	Line Of Sight
LKAB	Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag
NWM	Numerical Weather Models
PSI	Persistent Scatterer Interferometry
SBAS	Small BAseline Subset
TEC	Total Electron Content
2D	2 Dimensions

Introduction

Natural disasters induced by ground deformation are widespread phenomena of various magnitude caused by geological and climatic conditions or induced by anthropogenic factors [1]. Urban environments are complex systems that support human life and must constantly be monitored to avoid catastrophic loss of infrastructures and lives. Urban infrastructures have become imperative to human life and any damage to these infrastructures as a result of detrimental activities would accrue huge economical costs and severe casualties. Spatial and temporal evolution of ground motion especially land subsidence can be detected and monitored by Earth observation data and remote sensing techniques. Synthetic Aperture Radar (SAR) data and Interferometric SAR (InSAR) techniques help us to establish a reliable and fast monitoring system for detecting ground motion. Over the past two decades, capabilities of InSAR have been demonstrated to detect and quantify land surface deformations with a precision in the order of millimetres [2].

New generations of satellites, such as the Copernicus Sentinel-1 (S1), have provided new perspectives for continuous ground surface monitoring, being characterized by enhancements in terms of revisit time, coverage, timeliness, and reliability of service [3]. Indeed, the C-band S1 synthetic aperture radar (SAR) instrument is specifically designed to carry out interferometric analyses over land [4], and recent studies have confirmed that S1 data allows analyzing Earth's surface displacements using Differential SAR interferometry (DInSAR) techniques [5][6][7]. DInSAR has the capability to precisely monitor surface displacements over time (temporal sampling rate up to 6 days for Sentinel-1A and B) with a wide coverage in a labor- and time-saving, and cost-efficient manner [8]. However, some limitations and challenges hinder InSAR techniques to extract surface displacements successfully. Spatio-temporal decorrelation [9] (due to long perpendicular and temporal baselines between SAR acquisitions, and rapid changes of scatterers on the ground) and atmospheric signal propagation delay [10] are two main challenges and limitations. Permanent Scatterer Interferometry (PSI) [11], Stanford Method for Persistent Scatterers (StaMPS) [12], Spatio-temporal Unwrapping Network (STUN) [13], Small Baseline Subsets (SBAS) [14], and Enhanced Small Baseline Subset (ESBAS) [15] have been proposed to overcome or mitigate those limitations in specific conditions.

Atmospheric delays are predominately composed of components caused by the ionosphere and the neutral atmosphere. The ionosphere (i.e., the total electron content (TEC)) can cause a

phase advance on microwave signals. Thus, it has more severe effects on L-band than on C- and X-bands, with a magnitude inversely proportional to the signal frequency [16]. Variations in time and space of water vapour, pressure and temperature causes a phase delay [10]. Spatio-temporal variations of only 20 % in relative humidity leading to 10 cm errors and variations in pressure, temperature, and relative humidity in the lower part of the troposphere (< 5 km) could potentially induce up to 15–20 cm interferometric phase delay [17][18].

This phase delay could reach several centimetres and often affects the deformation signal [19]. This additional contribution in interferogram results from a turbulent component affected by troposphere dynamics (also called the wet delay) and stratification or a long-wavelength component induced by the lower atmosphere parameters such as pressure, temperature, and relative humidity (also called dry or hydrostatic delay) [19][20]. Many studies have been developed to mitigate the negative effects of the turbulent component as random component in space and time in interferograms by applying the temporal and spatial filtering [11][14][12] to time series of SAR data.

The stratified tropospheric delay can cause a long-term bias in estimates of the deformation signal where stacking-based methods are used especially when seasonal variations have not properly been sampled in time [21]. Different methods have been proposed to correct the tropospheric phase delay in SAR data which can be generally split into two groups: i) phase-based methods (or empirical methods), relying on the correlation between interferometric phase and topography in either a non-deforming area [22][23] or a deforming area (power law) [24], ii) weather-based models (or predictive methods) relying on weather parameters (e.g., pressure, temperature, and relative humidity) of Numerical Weather Models (NWM)[18][25][26] such as ERA-Interim [25] and ERA5 provided by ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts), Generic Atmospheric Correction Online Service for InSAR (GACOS) (based on HRES-ECMWF)[27].

In this report, the validation of the InSAR-Sweden product is conducted through the cross-comparison between InSAR-based results (i.e., independent InSAR processing) and other in-situ reference data (e.g., leveling and GNSS data). The validation procedure is performed through the accuracy assessment strategy described in the following section.

Accuracy assessment strategy

This report has been divided into two main sections: 1) results cross-comparison and 2) InSAR atmospheric correction. Based on the availability of validation data, Gothenburg, Stockholm, and Kiruna have been selected as validation sites. Results cross-comparison compares the time-series of InSAR-Sweden displacement, as a point-wise map (PS points) generated based on the PSI method, to the survey (leveling) and GNSS data (for Stockholm, Gothenburg, and Kiruna), and to the InSAR-PSI result derived by the Gamma software for Gothenburg and to Small Baseline Subset (SBAS) result for Kiruna. The InSAR atmospheric correction deals with the effects of phase delay induced by troposphere on the radar signal. The in-situ measurements for the first section, including the survey/leveling data and GNSS data, were provided by Trafikverket and Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag (LKAB) respectively. We used a space-time filtering approach to estimate the atmospheric artifact. The diagram of the InSAR-Sweden accuracy assessment strategy is presented in the Figure 1. The “results” term in Fig. 1 refers to time-series of InSAR displacements obtained by the different methods and/or in-situ measurements, which could be in Line Of Sight (LOS), vertical and horizontal directions.

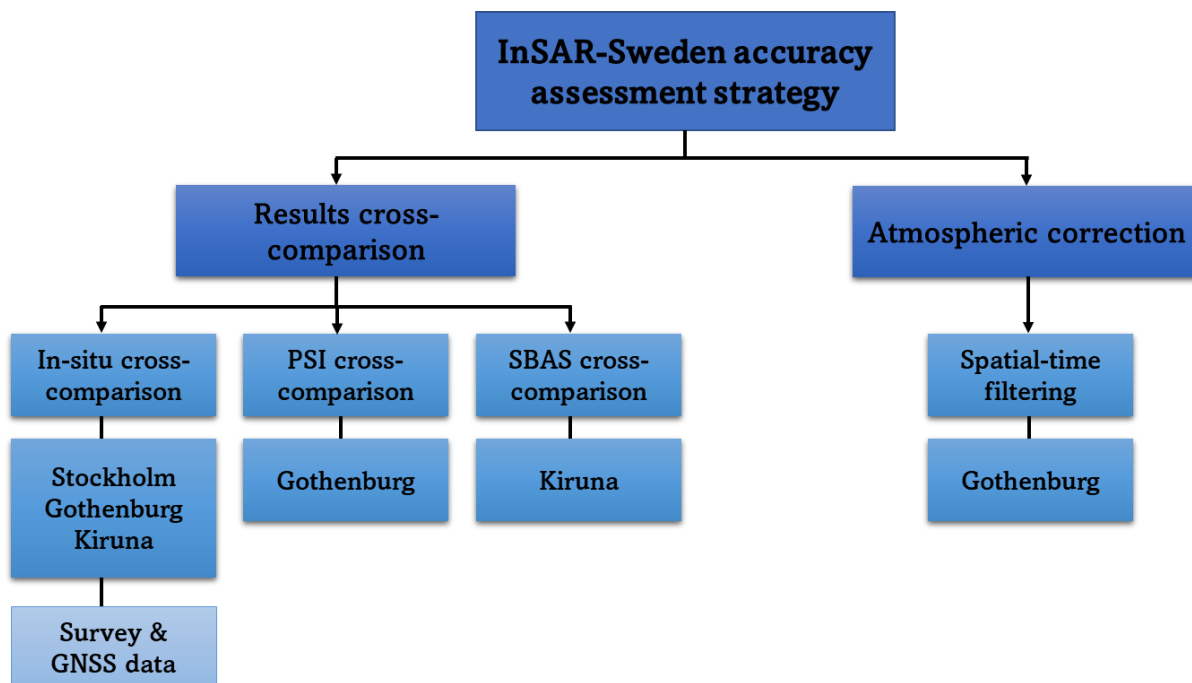


Figure 1. Diagram of the InSAR-Sweden accuracy assessment strategy including results cross-comparison and InSAR atmospheric correction parts.

1. Results cross-comparison

1.1. InSAR-Sweden vs. in-situ measurements

1.1.1. Stockholm case study

The survey (leveling) data of the City of Stockholm provided by Trafikverket were used to validate the InSAR-Sweden results. The following criteria were applied to the leveling data for points selection:

- 1- The time span of the leveling survey points falls into the period of the InSAR-Sweden product (i.e., 2015–2020).
- 2- The location of the survey points is as close as possible (i.e., a few meters) to the InSAR-Sweden points

According to the above conditions, four survey points in the red square area were selected for the cross-comparison (Figure 2a-b). Four displacement layers of the Sweden-InSAR points including two ascending and two descending orbits have been overlaid on the high-resolution optical image of Stockholm along with the survey points (Figure 2b). The closest survey points to the InSAR points were chosen to compare the time-series of the InSAR displacements. As InSAR-Sweden points present displacements along the satellite Line Of Sight (LOS), the LOS displacements were projected to the vertical displacements using the incidence angle of each point to be consistent with vertical displacements of the survey points [28].

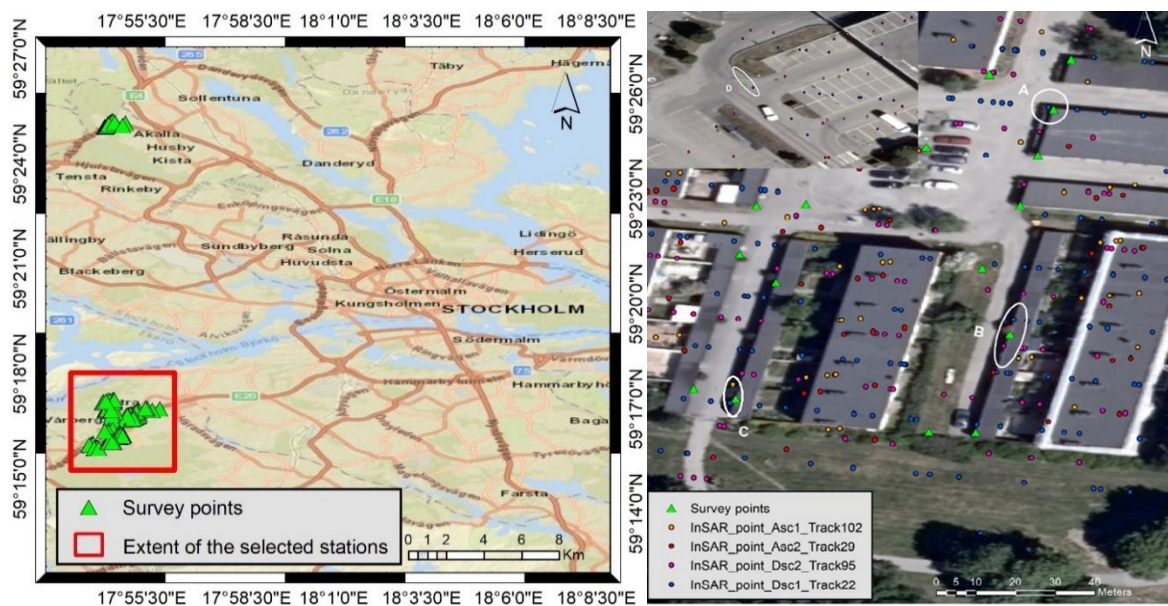


Figure 2. Cross-comparison of the InSAR and the survey points for a part of Stockholm city. Four survey points in the red square (on the left picture) met the criteria of the point selection step and a zoomed view of the region inside the red square and the selected four leveling points (i.e., white circles/oval A, B, C and D) have shown on the right picture.

The cross-comparison plots for the points “A” and “B” are presented in Figure 3 and plots of points “C” and “D” are transferred to the appendix (Fig. 2A). More information for the selected InSAR and survey points are shown in Table 1. As the number of the measured survey and InSAR points are not the same, a straight line (polynomial degree of one) was fitted to the InSAR points to estimate the displacement corresponding to the dates of the survey points and root mean square error (rmse) between survey and InSAR points. The rmse values of four selected points vary between about 1mm and 7mm. Since we did not have the geographical location of the reference points used in the InSAR-Sweden for estimation of local absolute displacement in each square patch, a point with a high coherency value over a stable area (relatively zero displacement) on the InSAR-Sweden displacement map was selected as reference point to use in the Gamma PSI processing. The lack of selecting the same reference point for both PSI processing (InSAR-Sweden and Gamma) might cause a small bias between the time series of both displacements that can manifest itself as parallel separation between the fitted lines to the time-series displacements of InSAR-Sweden and Gamma.

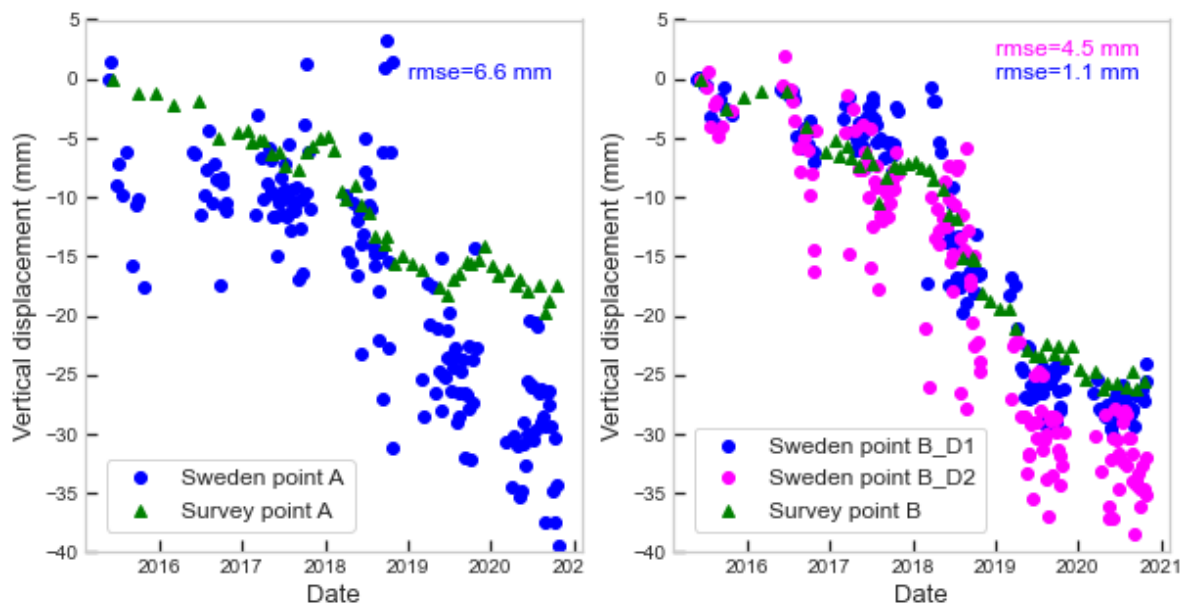


Figure 3. Time-series of vertical displacement of the InSAR and survey points. The time-series displacement of the survey points A and B (blue and pink belong to the Desc1(D1)_Track 22 and Desc2(D2)_Track 95 respectively) have plotted (presented in Fig. 2b). The colour of the InSAR points corresponds to the colours in the Figure 1b and more information about the points have provided in the Table 1.

Several important issues should be accounted when the results are compared and analyzed. Firstly, the InSAR and survey points are not exactly at the same location and there is some distance between them (Figure 1b). Secondly, the InSAR point provides the displacement

component of an area at the Sentinel-1 pixel size, which is almost 2 m×15 m in the SLC format (no-multi looking applied), while a survey data presents the displacement component only at a given point. Thirdly, as we do not have horizontal displacements of the survey points (i.e., east-west motion), we assumed that the horizontal displacement component of the InSAR points is zero, which is most probably a correct assumption for urban areas, while LOS InSAR displacement is a combination of vertical and horizontal components that cannot be directly compared to other vertical in-situ measurements if there is a lateral displacement.

Table 1. Characteristics of the InSAR and survey points. The geographical coordinates are the coordinates of the leveling points. The height reference is the WGS84 ellipsoid, and Inc. angle stands for incident angle.

InSAR Points	Leveling ID	Longitude	Latitude	Orbit	Track	Inc. angle	Height
A	14U761SD	17.91084°	59.282918°	Descending1	22	40.7°	60.2m
B (blue)	14U764SD	17,91076°	59,282420°	Descending1	22	40.7°	58.7m
B (pink)	14U758SD	17,91067°	59,282238°	Descending2	95	33.5°	58.7m
C (blue)	14U758SD	17.91012°	59.282226°	Descending1	22	40.7°	58.8m
C (orange)	14U758SD	17,91012°	59,282269°	Ascending1	102	39,1°	58.8m
D	14GA076S	17.91277°	59.269900°	Ascending1	102	39,1°	52.7m

1.1.2. Gothenburg case study

In this section, the results of InSAR-Sweden and InSAR-Gamma were compared to each other and to survey points as well. Sentinel-1 data according to the InSAR-Sweden product specifications (i.e., acquisition modes and dates) were processed independently with the Gamma software. The same criteria for the survey points selection used for Stockholm, which was explained in the previous section, were applied to the survey data of Gothenburg. Unfortunately, only three survey points met the point selection criteria (points “A”, “B” and “C” in Figure 4).

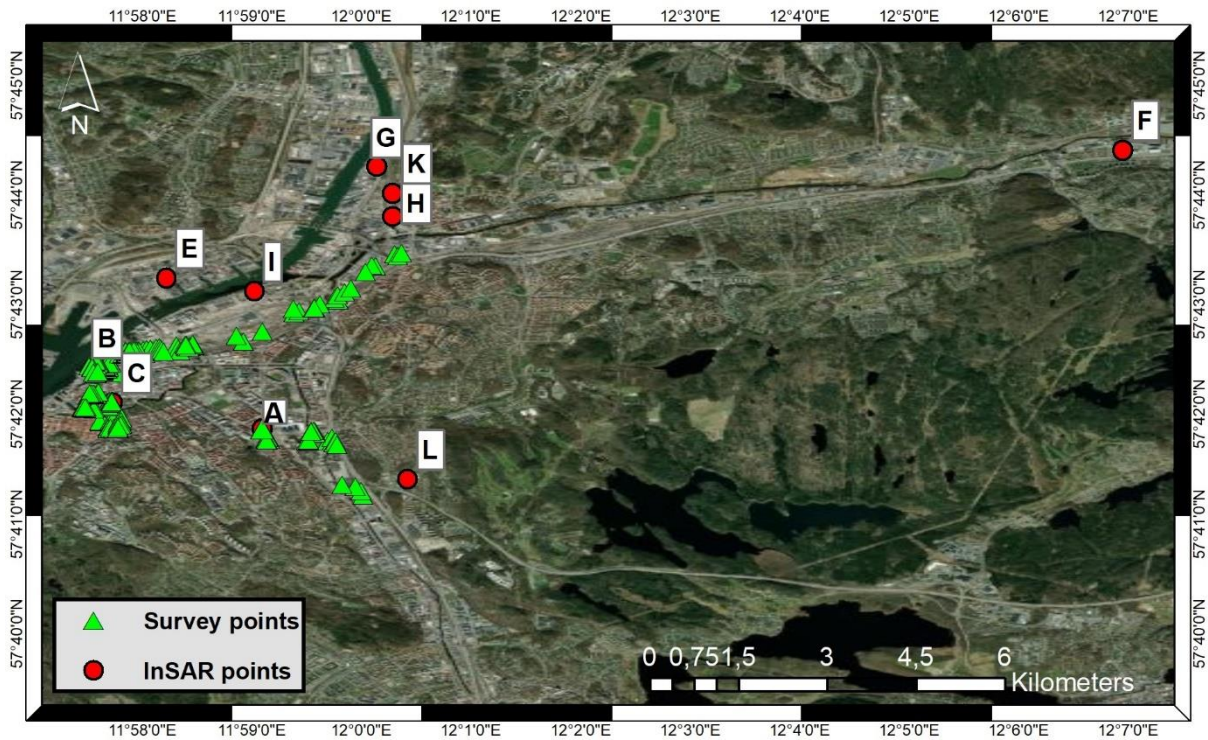


Figure 4. Locations of the survey and the InSAR points in Gothenburg. Three InSAR points were found close enough to the survey points with an appropriate time span for the InSAR-survey cross-comparison (points A, B and C) and the rest of the survey points used for the InSAR-Gamma and InSAR-Sweden cross-comparison. As the InSAR point “D” located in southern part of Gothenburg, where it is much far away from the city centre, it is not shown in the map to keep the figure at a suitable scale for the visualization purpose.

1.1.2.1. Survey points vs. InSAR-Gamma and InSAR-Sweden points

Time-series displacement of three survey points, InSAR-Gamma and InSAR-Sweden points have been plotted. The cross-comparison plots for the points “A” and “B” are presented in **Fel! Hittar inte referenskölla.** and the plot of point “C” is placed in the appendix (Fig. 5A). More information for the InSAR and survey points has shown in Table 2.

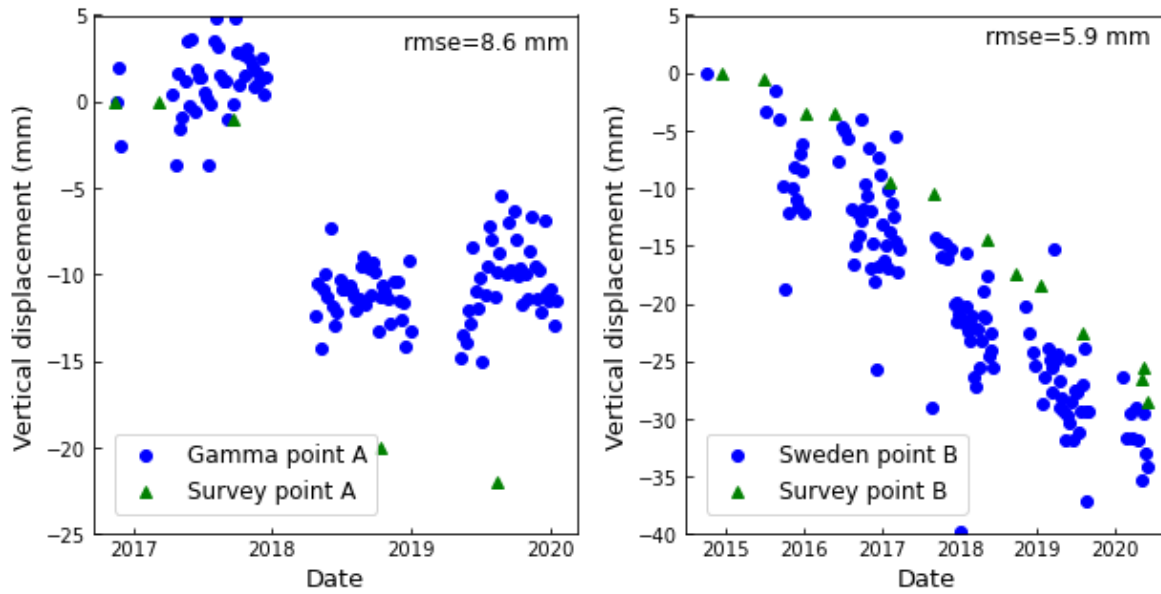


Figure 5. Survey vs. InSAR-Gamma (Gamma point) and InSAR-Sweden (Sweden point) cross-comparison for Gothenburg.

Table 2. Characteristics of the InSAR and survey points. The geographical coordinates belong to the coordinates of survey points. The height reference is WGS84 ellipsoid and Inc. angle stands for incident angle.

InSAR Points	Leveling ID	Geo Coord X	Geo Coord Y	Orbit	Track	Inc. angle	Height
A	H30100	11,984821°	57,697795°	Ascending2	146	38°	14.2m
B	N36004	11,959198°	57,707107°	Descending1	168	44.9°	34.2m
C	V30008	11,962141°	57,701778°	Descending1	168	44.9°	45.4m

1.1.2.2. InSAR-Sweden vs. InSAR-Gamma points

In this section, the PSI results derived by the Gamma software are compared with the InSAR-Sweden points. The same dates, mode, and track of the InSAR-Sweden product (ascending2 mode and track 146) were used for Sentinel-1 data selection for PSI processing with the Gamma software. The cross-comparison plots of points “D” and “E” presented in Figure 6 and the rest of the plots for other points can be found in the appendix (Fig. 6A). More information over the InSAR and survey points used in the cross-comparison is shown in Table 3.

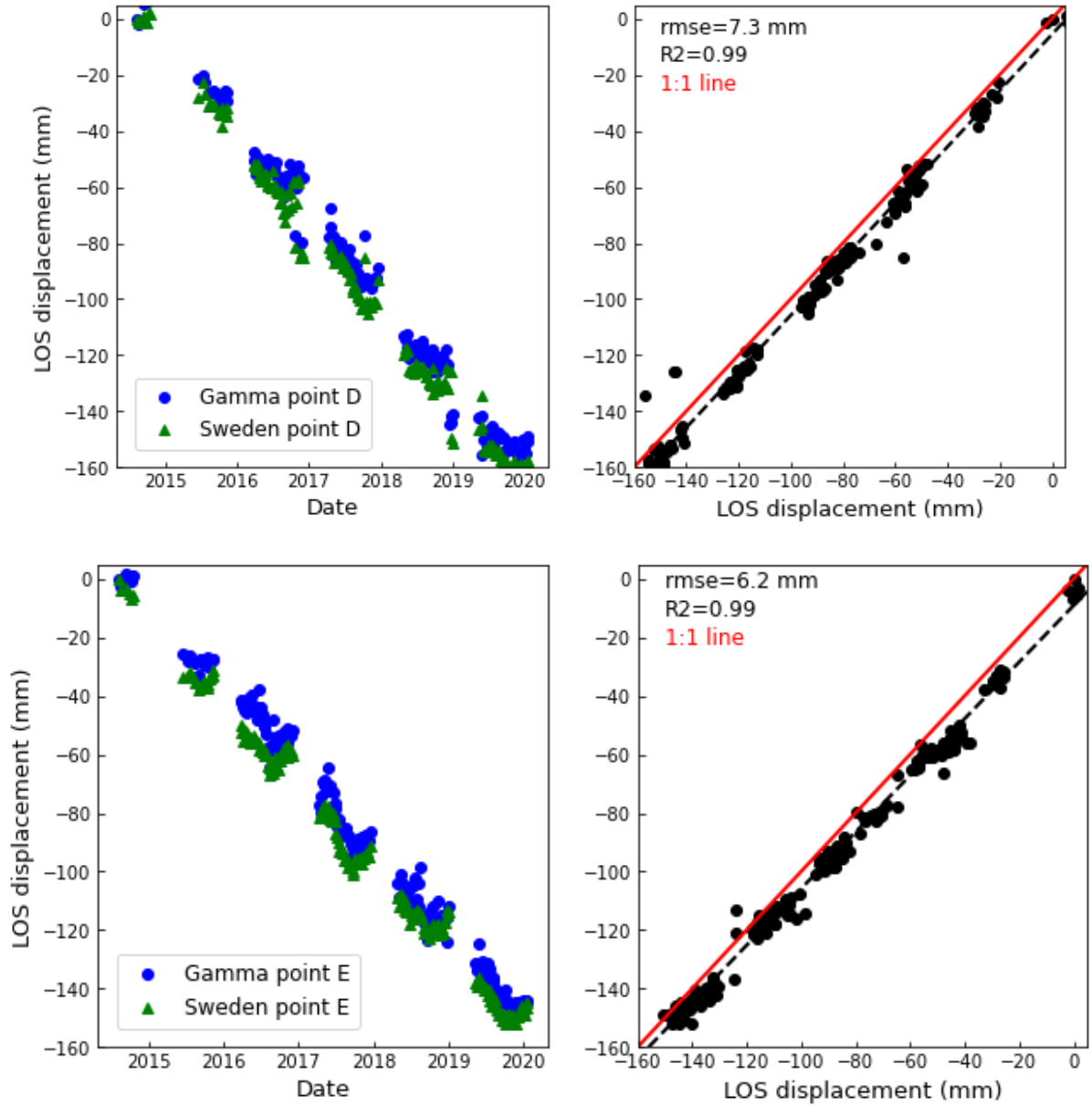


Figure 6. The InSAR-Sweden (Sweden point) and InSAR-Gamma (Gamma point) cross-comparison plots. The time-series LOS displacement and corresponding scatter plots with rmse and correlation coefficient for each point presented and calculated respectively.

Table 3. Characteristics of the InSAR-Sweden points used in the cross-comparison. The height reference is the WGS84 ellipsoid and Inc. angle stands for incident angle.

InSAR Points	Geo Coord X	Geo Coord Y	Orbit	Track	Inc. angle	Height
D	12.1966484°	57.425507°	Ascending2	146	38.4°	49.7m
E	11.9703341°	57.720747°	Ascending2	146	38°	33.2m
F	12.1158694°	57.740194°	Ascending2	146	45.2°	46.5m
G	12.0023210°	57.737639°	Ascending2	146	44.9°	36.7m
H	12.0046429°	57.730110°	Ascending2	146	38.1°	36.6m
I	11.9838632°	57.718794°	Ascending2	146	38°	33.3m
K	12.0046833°	57.733664°	Ascending2	146	38.1°	36.6m
L	11.9600000°	12.007043°	Ascending1	44	44.9°	47.8m

1.1.3. Kiruna case study

In this section, 2D displacement of the GNSS points are compared to the InSAR-Sweden product, SBAS results and the EGMS product for the Kiruna case study. The EGMS ortho product was downloaded from the EGMS website (<https://egms.land.copernicus.eu/>). The time-series displacements of the GNSS stations were provided by the company LKAB and were mainly located on the moving part of Kiruna and near by the city (green triangles in Figure 7). In addition, eleven points distributed over different parts of Kiruna were randomly selected for the cross-comparison between PSI-based InSAR-Sweden product and SBAS results (red circles in Figure 7).



Figure 7. Location of the GNSS stations and InSAR points used for the cross-comparison over the Kiruna.

1.1.3.1. 2D GNSS points vs. InSAR-SBAS and InSAR-EGMS points

The ortho EGMS product includes 2D displacements components on a 100 m grid and anchored to the reference geodetic model, which has been generated based on the combination

of ascending and descending modes of the InSAR-Sweden products. Three different Sentinel-1 datasets, two descending tracks (95 and 168) and one ascending track (160) modes, were processed using the SBAS technique to extract 2D displacement components. We found only five EGMS points close to the GNSS stations for the cross-comparison (i.e., D48old, H17old, M17old, S9old and C22 depicted on Fig. 7). One displacement time-series plot including vertical (up-down) and horizontal (west-east) components obtained by SBAS, PSI (InSAR-EGMS) and GNSS stations is presented in Fig. 8 and four plots were transferred to the appendix (Fig. 8A). The rmse values calculated between GNSS and SBAS points, and between GNSS and EGMS points have been presented in Table 4. Root Mean Square Error (rmse) calculated between 2D displacement time-series (vertical and horizontal) of GNSS and SBAS (rmse_SBAS), and between GNSS and EGMS (rmse_EGMS) in millimetre. “H” and “V” stand for Horizontal (east-west) and Vertical (up-down) movements respectively. The “distance” column indicates the distance between the GNSS stations and the EGMS points.

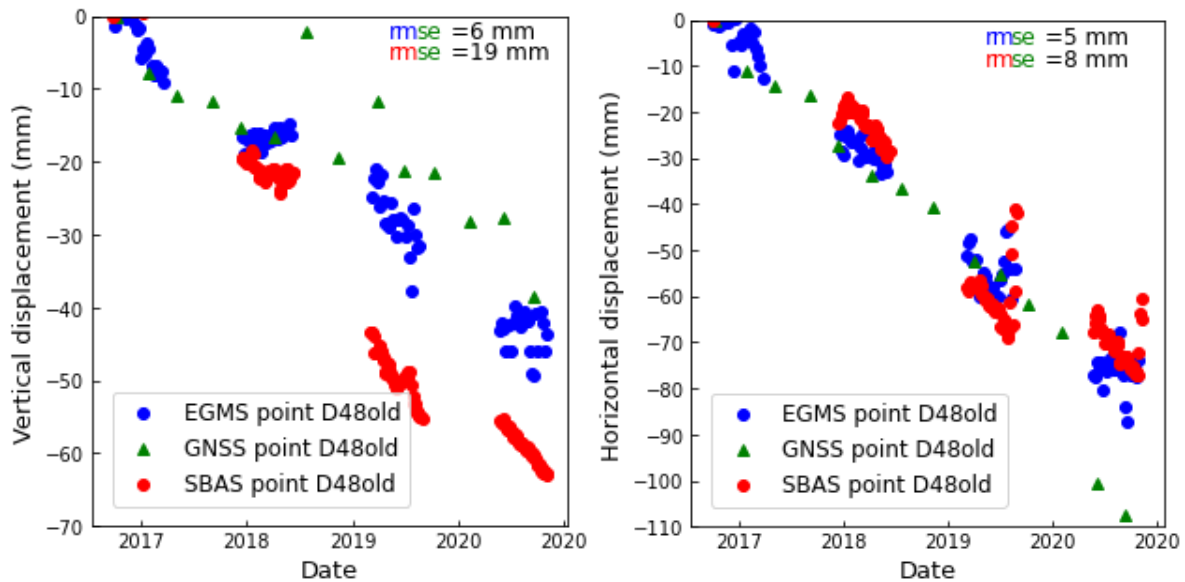


Figure 8. The time-series of 2D displacement plots of GNSS, SBAS and EGMS for Kiruna. The vertical and the horizontal displacement plots have been presented on the left and right sides respectively. Negative values of vertical and horizontal on the plots indicate a downward and a westward movement, respectively. The colour of the rmse text in the plot corresponds to the points colours of each measurement, for example, a rmse with a red-green colour indicates the rmse calculated between the SBAS (red points) and the GNSS (green triangles).

Table 4. Root Mean Square Error (rmse) calculated between 2D displacement time-series (vertical and horizontal) of GNSS and SBAS (rmse_SBAS), and between GNSS and EGMS (rmse_EGMS) in millimetre. “H” and “V” stand for Horizontal (east-west) and Vertical (up-down) movements respectively. The “distance” column indicates the distance between the GNSS stations and the EGMS points.

GNSS_ID	rmse_SBAS_V	rmse_EGMS_V	rmse_SBAS_H	rmse_EGMS_H	Distance
C_22	8.2	3.9	16.3	28.1	36m
D48old	19.8	6.4	8.6	5.5	250m

H17old	1.4	10.4	5.9	18.5	100m
M17old	13.1	13.1	9	22	50m
S9old	2.6	7.1	23.4	7.9	330m
rmse Average	9.02	8.18	12.64	16.4	

Since the ortho-EGMS product has been anchored to the reference geodetic model, the post glacier rebound signal masks the local deformation. Therefore, we need to remove this signal to enable comparison of the ortho-EGMS displacement to the SBAS and GNSS displacements. To this end, we assumed that the vertical displacement over the Kiruna airport equals to the post glacier uplift trend for the Kiruna region, as either its west-east displacement on the ortho-EGMS or InSAR-Sweden (both descending and ascending modes) products are zero. Hence, the uplift trend over the airport was subtracted from the vertical displacement of the ortho-EGMS product to achieve the local displacement. We used the horizontal displacement of the ortho-EGMS product directly without any correction to compare to the SBAS and GNSS displacements (assuming the lateral displacement of the post-glacial rebound is negligible for a small region, as the horizontal displacement of the Kiruna airport on ortho-EGMS is zero). Two more issues require to be considered when the EGMS product is compared and interpreted. Firstly, the EGMS displacement component provide the displacement measurements of several InSAR-points interpolated into a 100 m grid, and secondly, the ortho-EGMS product has been calibrated using the European GNSS network that led to the absolute displacement map while the procedure to select the reference point to get the absolute displacement is different in the SBAS processing (i.e., fitting a plane derived from several points selected over the stable areas). The coherence threshold of 0.2 was selected in the SBAS processing to reach the maximum coverage of the displacement map, which can probably increase phase variance noise over the low coherence regions especially for the regions where a GNSS stations is located on the vegetated areas (Fig. 7).

1.1.3.2. LOS InSAR-SBAS vs. LOS InSAR-Sweden (PSI)

Cross-comparison plots of eleven points shown in Fig. 7 (red circles) have been generated. Two of them are presented in Fig. 9 and the rest can be found in the appendix (Fig. 9A). The cross-comparison of the InSAR points were performed in different geometry modes of the InSAR-Sweden (i.e., descending and ascending) and more information for the selected points is found in Table 5. In Fig. 9, the results of InSAR-Sweden (PSI) are compared with the SBAS results in the LOS direction.

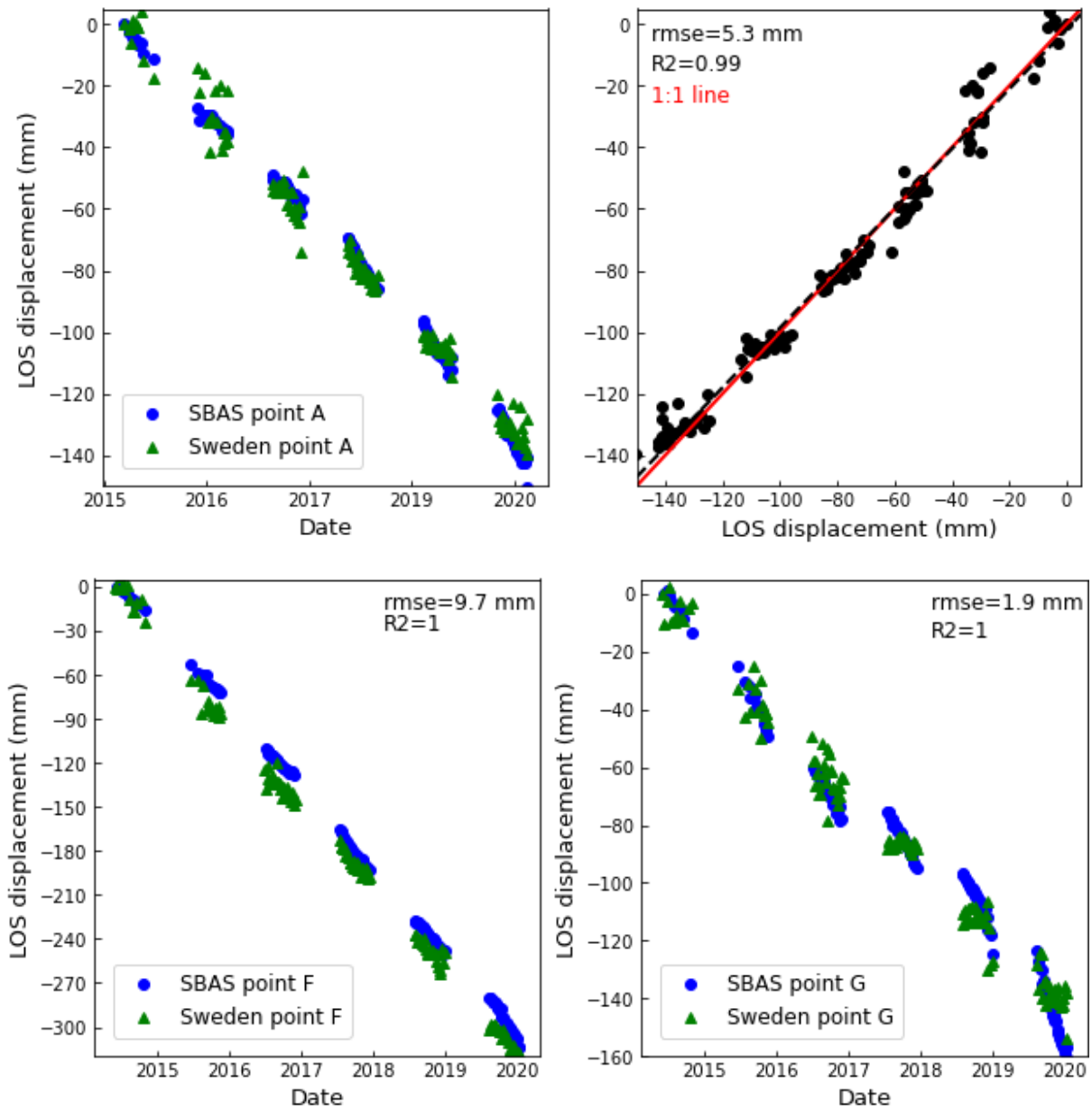


Figure 9. The LOS time-series displacement and scatter plots of InSAR-Sweden (Sweden points) and InSAR-SBAS (SBAS points). The scatter plot belongs to point “A”. The time-series displacement of the SBAS pixels corresponding to the InSAR-Sweden points extracted for the cross-comparison. The rmse and correlation coefficient (R2) values are given. The time-series displacement plot and scatter plot of each point provided when the number of data are the same in the InSAR-Sweden and independent InSAR processing (here SBAS) while only time-series displacement plot provided for the points that the number of data are not the same.

Table 5. Characteristics of the InSAR-Sweden points (red points in the Fig. 7). The height reference is WGS84 ellipsoid and Inc. angle stands for incident angle. The rmse values are the root mean square error calculated between SBAS and PSI (InSAR-Sweden) points.

InSAR Points	rmse (mm)	Longitude	Latitude	Orbit	Track	Inc. angle	Height
A	5,30	20,2304439°	67,843231°	Descending2	95	38.9°	523.7m
B	16,50	20,2387752°	67,844841°	Descending2	95	38.8°	550m

C	10,80	20,2178630°	67,856063°	Descending2	95	38.9°	564.3m
D	10,80	20,1926727°	67,850868°	Descending2	95	39°	532.2m
E	20,00	20,1956367°	67,824707°	Descending2	95	38.9°	525.8m
F	9,70	20,2242336°	67,851371°	Descending1	168	33.6°	547.2m
G	1,90	20,1284179°	67,849845°	Descending1	168	33.8°	586.7m
H	15,20	20,2169246°	67,836654°	Descending1	168	33.6°	577m
I	5,00	20,2317199°	67,846885°	Aescending1	160	33.6°	538.9m
K	7,20	20,1488666°	67,835342°	Aescending1	160	33.4°	654.4m
L	6,6	20,1903343°	67,829246°	Aescending1	160	33.5°	547.8m
rmse average	10						

2. InSAR atmospheric correction

2.1. InSAR-based tropospheric correction

Since the estimated atmospheric phase delay of the InSAR-Sweden product was not available to be evaluated and compared with other InSAR atmospheric correction methods, we evaluated the performance of atmospheric correction of InSAR-Sweden product using comparing the displacement time-series before and after atmospheric phase removal by Gamma software. The temporal and spatial filtering method were used to estimate the atmospheric phase delay that relies on the fact that variability of atmosphere parameters, which affects InSAR phase, are correlated in space and uncorrelated in time domain. The time-series displacement of the two points “E” and “L” in Gothenburg (Fig. 4) were generated before and after applying the atmospheric correction using Gamma (See Fig. 10). The reduction of standard deviation (SD) of phase, or displacement, is a common indicator that shows the improvement in the results in the sense that SD is usually reduced after applying atmospheric correction. Table 6 presents the SD of both points implying an improvement due to the atmospheric correction. Generally, this result demonstrates that the InSAR-Sweden product provides a good performance to mitigate atmospheric artifacts.

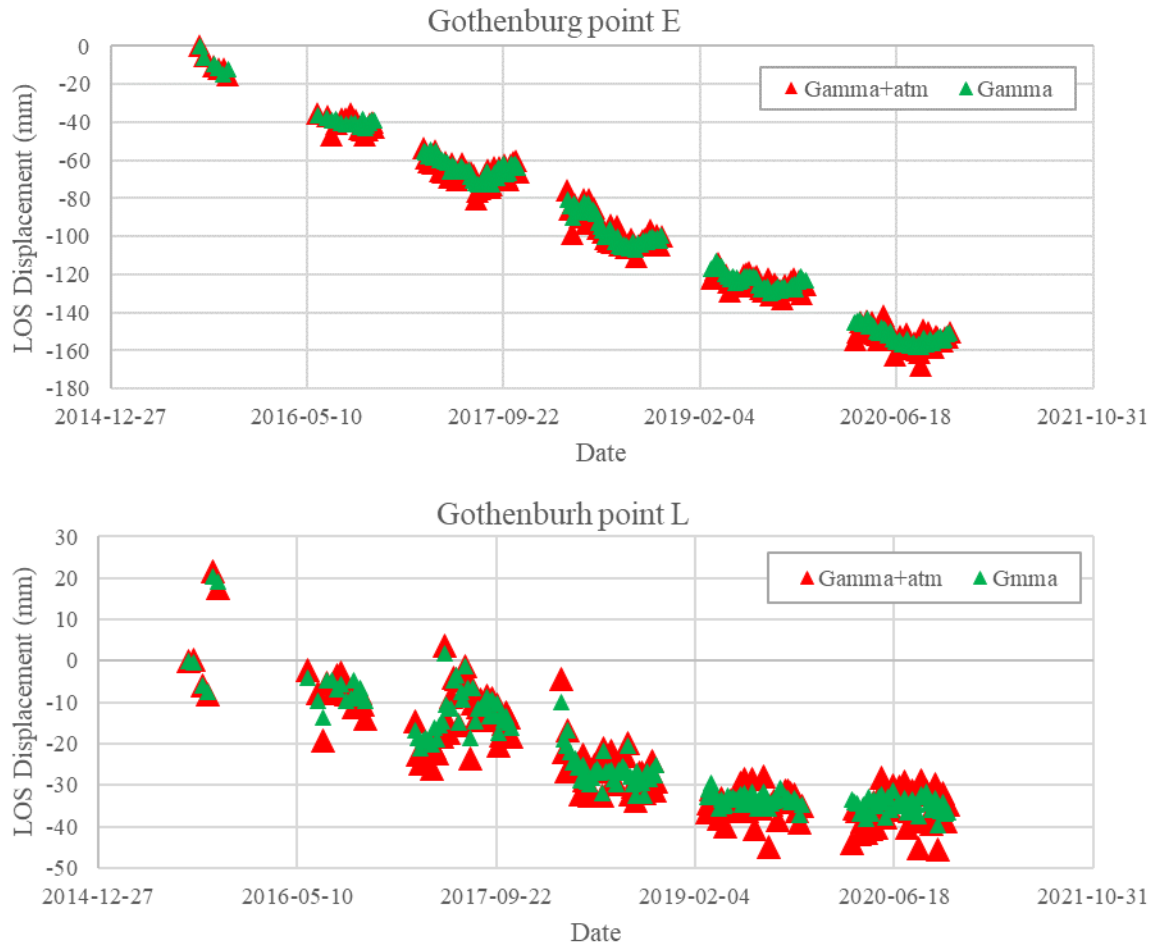


Figure 10. The effect of troposphere on InSAR time-series displacement derived by the Gamma software before (i.e., Gamma+atm) and after (i.e., Gamma) atmospheric correction. The two plots are points “E” and “L” from the Gothenburg map presented in Fig. 4.

Table 6. Standard deviation (SD) of displacement of two points in Fig. 10 before and after atmospheric correction.

Point ID	SD Gamma	SD Gamma+atm	SD InSAR_Sweden
Point E	40 mm	40.1 mm	40.6 mm
Point L	11.8 mm	12.3 mm	14 mm

3. Discussion

3.1. InSAR-based results vs. leveling and GNSS measurements

The rmse between InSAR-Sweden and leveling data for four points selected over the Stockholm city is between 1mm and 9mm (Table 7). For the leveling point “B”, where there are two InSAR-Sweden points close to the leveling point, the rmse value of the point for the descending1 track (blue point in Fig. 2b) is lower than for the descending2 track (pink point in Fig. 2b) implying that the displacement is not purely vertical and the displacement component mainly align to the incident angle of descending1track (i.e., 40.7°). This is the case for the

leveling point “C” as well, the rmse value of the point for the descending1 track (blue point in Fig. 2) is lower than for the point of the ascending2 track (orange point in Fig. 2b).

Table 7. The rmse value calculated between the displacements time-series of InSAR-Sweden and leveling points. The terms “D1”, “D2” and “A1” indicate Decending1, Decending2 and Ascending1 respectively (see Fig. 2b). The rmse values are given in mm.

Point ID	Stockholm					
	A	BD1	BD2	CD1	CA1	D
rmse	6.6	1.1	2.3	2.3	8.6	2

The mean velocity of an InSAR point (slope of the line fitted to the displacement time-series points) is the most important parameter for evaluation of the stability of a point, therefore, we use the mean velocity of the points for the cross-comparison to avoid the effect of probable bias induced by selecting two different reference points (to achieve absolute displacement) in the case we compare the InSAR-Sweden result with the independent InSAR processing (i.e., PSI and SBAS for Gothenburg and Kiruna, respectively). Fig. 11 presents the mean velocity of four points that are relatively close to each other with a similar standard deviation. The velocity differences could be attributed to a) the high deviation/scattering of the InSAR-Sweden points, which is probably due to atmospheric artifacts, b) presence of the horizontal displacement components at the intended point and c) inaccuracy of the leveling data (the unexpected uplift patterns can be observed in the leveling data that could be either due to the seasonal variation (e.g., groundwater variation) or measurement errors in the leveling data).

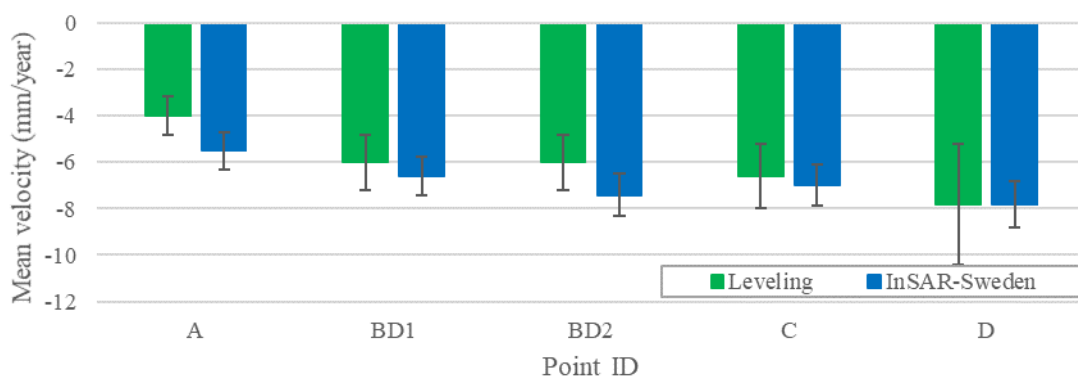


Figure 11. Comparison of mean velocity between the InSAR-Sweden and leveling data for the selected points over Stockholm (Fig. 2b). The mean velocity of the point “C” is calculated for the descending1 track only. The error bars present the standard errors.

In the Gothenburg case study, the rmse values vary between 4mm and 23mm (Table 8).

Table 8. The rmse value calculated between the displacements time-series of InSAR-Sweden and leveling points for the selected points over Gothenburg. The rmse values are in mm.

Point ID	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L
rmse	8.6	5.9	6.9	7.3	6.2	4.4	4.3	10.3	5.6	23	6.9

The mean velocity of each point for the leveling, InSAR-Sweden and InSAR-Gamma points have been calculated (Table 9). The velocity differences vary between 0mm/year and 2.6mm/year and the precision values (standard error) are similar for the InSAR-Sweden and InSAR-Gamma (Fig. 12). It should be here mentioned that the geographical location of the points (i.e., leveling, InSAR-Sweden and InSAR-Gamma points) are not the same (they are a few metres apart from each other). Therefore, these distances must be accounted for when the rmse and the mean velocity values are compared.

Table 9. The mean velocity values calculated for the leveling, InSAR-Sweden and InSAR-Gamma points over Gothenburg (Fig. 4). The mean velocity values are in mm/year.

Points ID	Gothenburg										
	A	B	C	D	E	F	G	H	K	L	I
Leveling velocity	-7.5	-6.4	-3	-	-	-	-	-	-	-	-
InSAR-Sweden velocity	-	-6.8	-5	-32	-29.6	-26.1	-6.1	-15	-22	-8.7	-6.6
InSAR-Gamma velocity	-9.8	-	-	-32	-28.7	-28.7	-7.8	-13.1	-20.7	-7.7	-6.3
Velocity Difference	2.3	0.4	2	0	0.9	2.6	1.7	1.9	1.3	1	0.3

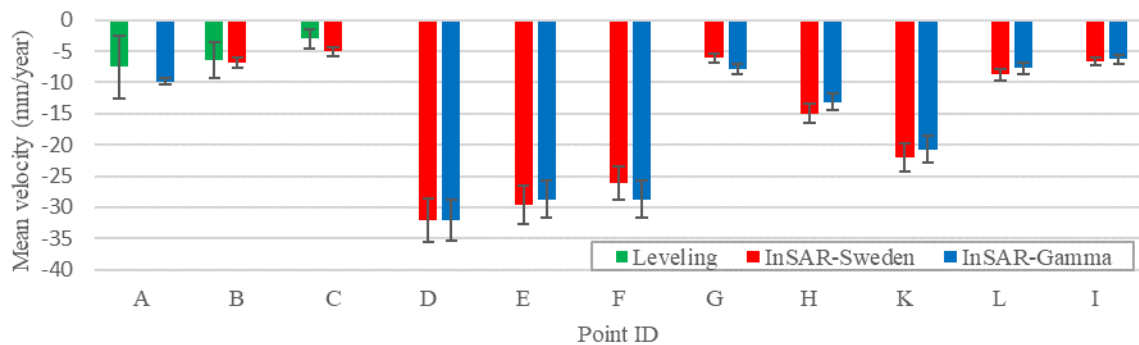


Figure 12. The comparison of the mean velocity between the leveling, InSAR-Sweden and InSAR-Gamma points in Gothenburg (Fig. 4). The error bars present the standard errors.

The rmse values calculated between InSAR-Sweden and InSAR-SBAS vary from 2 mm to 20 mm for the Kiruna case study (Table 10). The time series of InSAR-Sweden and InSAR-SBAS displacements are parallel in most cases (the same slope of fitted line, in turn, the same velocity).

Table 10. The rmse value calculated between the displacements time-series of InSAR-Sweden and InSAR-SBAS for the selected points over Kiruna. The rmse values are in mm.

Point ID	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
rmse	5.30	16.50	10.80	10.80	20.00	9.70	1.90	15.20	5.00	6.60	7.20

The mean velocity of each point for the InSAR-Sweden and InSAR-SBAS has been calculated (Table 11). The difference between the velocities varies almost between 0 mm/year and 3.6 mm/year and the precision values (standard error) are similar for the InSAR-Sweden and InSAR-SBAS (Fig. 13).

Table 11. The mean velocity values calculated for the InSAR-Sweden and InSAR-SBAS points over Kiruna (Fig. 7). The unit of mean velocity values are in mm/year.

	Kiruna										
	A	B	C	D	E	F	G	H	K	J	I
InSAR-Sweden velocity	-25.9	-13.8	-10	5.9	25.1	-58.5	-25.7	-25.9	-51.7	-44.8	6.9
InSAR-SBAS velocity	-25.2	-12.2	-6.4	6	26.4	-57.9	-26	-25.2	-53.2	-45.2	9.7
Velocity Difference	0.7	1.6	3.6	0.1	1.3	0.6	0.3	0.7	1.5	0.4	2.8

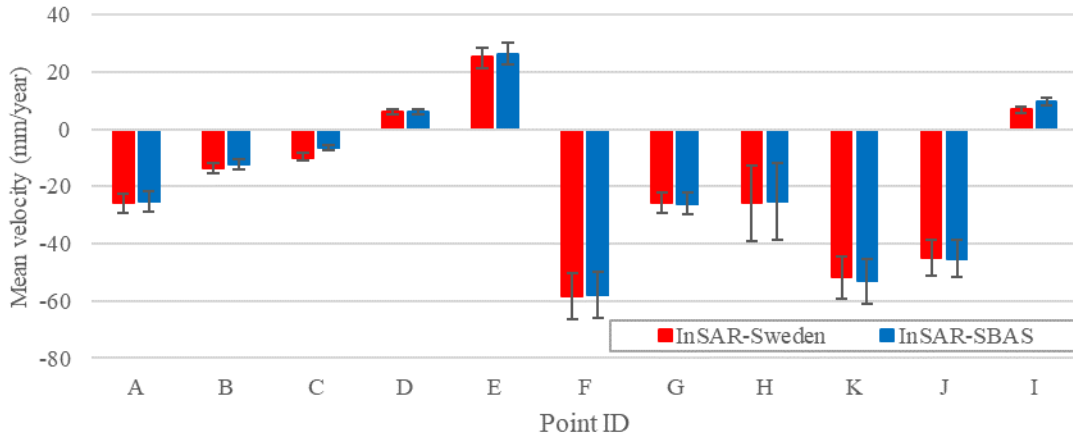


Figure 13. The comparison of the mean velocity between the InSAR-Sweden and InSAR-SBAS for the selected points in Kiruna (Fig. 7). The error bars present the standard errors.

To evaluate the accuracy of the EGMS product (ortho), which was obtained from a combination of the InSAR-Sweden product (2 descending and 2 ascending modes), the mean velocity of the EGMS-ortho and InSAR-SBAS (combination of 2 descending and 1 ascending tracks) was estimated and compared to the mean velocity of five GNSS stations provided by the LKAB company. The velocity comparison was performed for vertical (up-down) and

horizontal (west-east) displacement components. The result shows that the velocity rate of the horizontal component toward west (Fig. 14) is higher than the downward vertical component (Fig. 15).

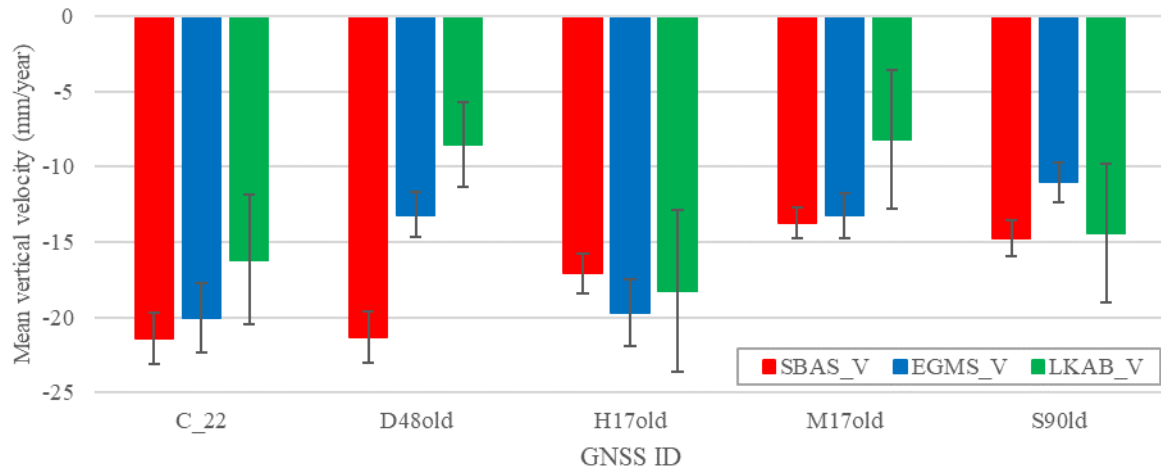


Figure 14. The comparison of the mean velocity (vertical) between the GNSS (LKAB_V), InSAR-SBAS (SBAS_V) and EGMS-ortho (EGMS_V) for five selected GNSS stations (Fig. 7). The error bars present the standard errors.

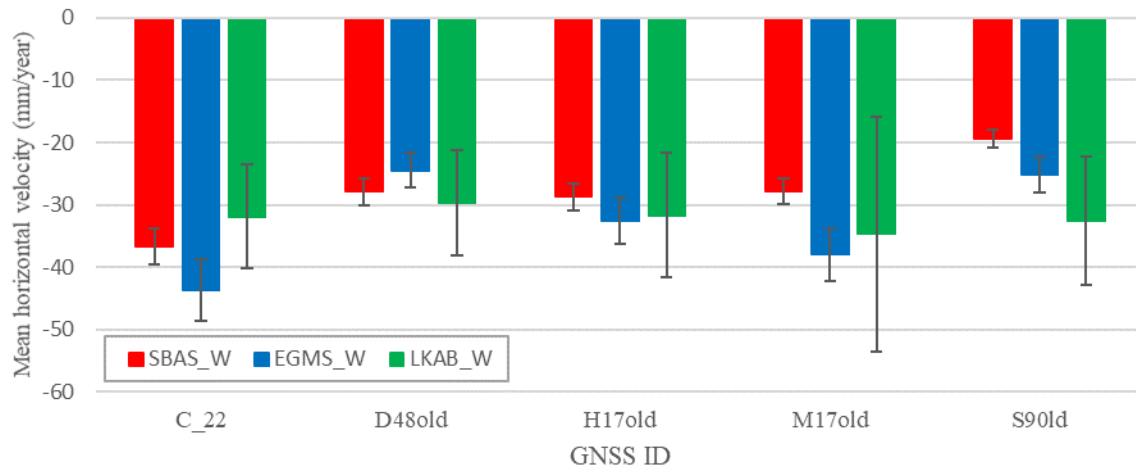


Figure 15. The comparison of the mean velocity (horizontal-west) between the GNSS (LKAB_W), InSAR-SBAS (SBAS_W) and EGMS-ortho (EGMS_W) for five selected GNSS stations (Fig. 7). The error bars present the standard errors.

The velocity differences between GNSS, InSAR-SBAS and EGMS for the horizontal velocity is less than the vertical velocity, and generally, the velocity differences are large than for the InSAR-SBAS and InSAR-Sweden comparison for Kiruna and previous test sites (i.e., Stockholm and Gothenburg). The main reasons for such differences could be related to the

following factors: 1) the EGMS-ortho product is an interpolated displacement map from the combination of 2 descending and 2 ascending modes of Sentinel-1 data while the InSAR-SBAS displacement map has been generated using 2 descending and 1 ascending tracks, 2) The geographical location of the EGMS points and the GNSS points are not the same (nearly a distance from 40 m to 330 m), 3) Half of the GNSS stations were located in the vegetated regions and to have displacement information we had to lower the coherence threshold (0.2) in the SBAS processing leading to increasing phase noise, and in return, decrease accuracy of displacement and velocity estimations, and 4) the reference point used in the PSI processing for the EGMS product and SBAS processing are not the same.

4. Conclusion

Validation of the InSAR-Sweden product was conducted through selecting three areas for case studies in Stockholm, Gothenburg, and Kiruna. In these three cases, the InSAR-Sweden product was compared to the results of independent InSAR processing including PSI and SBAS processing and in-situ data including survey (leveling) and GNSS data. In the Kiruna case study, the ortho EGMS-ortho product was also compared to the GNSS data and the SBAS result. In all case studies, InSAR-Sweden provided a satisfactory result generally comparable to in-situ measurements and other InSAR-based methods. To better analyze and interpret the cross-comparison results we should consider three key factors that could potentially lead to a difference in the outcomes. The first is the processing-related factors where the same InSAR algorithm was used (setting different parameters in the PSI algorithm in InSAR-Sweden and Gamma software), second, where the different algorithms have been used (PSI in InSAR-Sweden and SBAS for the Kiruna case study), and third, using different ancillary data and processing steps (e.g., selecting different reference points and using different DEM during InSAR processing).

5. Presentations at national and international conferences /meetings

- **Darvishi, M., Eriksson, L.,** Edman, T., Toller, E., Nilfouroushan, F., Elgered, G. & Dehls, J. (2022). InSAR-based Ground Motion Service of Sweden: evaluation and benefit analysis of a nationwide InSAR service. Nordic Geodetic commission General assembly, Copenhagen, Denmark, 5-8 Sept 2022.

- **Darvishi M., Eriksson L.,** Edman T., Toller E., Nilfouroushan F., Dehls J., InSAR based Ground Motion Service of Sweden: evaluation and benefit analysis of a nationwide InSAR service, ESA Living Planet Symposium, Bonn, Germany, 23–27 May 2022.

Acknowledgements

We would like to thank our Lantmäteriet and Chalmers colleagues, Faramarz Nilfouroushan and Gunnar Elgered, who contributed to the report preparation and results analyses. We would also like to thank Trafikverket and LKAB for providing the in-site measurements.

6. References

- [1] D. Petley, “Global patterns of loss of life from landslides,” *Geology*, vol. 40, no. 10, pp. 927–930, Aug. 2012, doi: 10.1130/G33217.1.
- [2] R. Bamler and P. Hartl, “Synthetic aperture radar interferometry,” *Inverse Probl*, vol. 14, no. 4, p. 55, 1998, doi: 10.1088/0266-5611/14/4/001.
- [3] R. Torres *et al.*, “GMES Sentinel-1 mission,” *Remote Sens Environ*, vol. 120, pp. 9–24, 2012, doi: 10.1016/j.rse.2011.05.028.
- [4] A. Rucci, A. Ferretti, A. Monti-Guarnieri, and F. Rocca, “Sentinel 1 SAR interferometry applications: the outlook for sub millimeter measurements,” *Remote Sens Environ*, vol. 120, pp. 156–163, May 2012, doi: 10.1016/j.rse.2011.09.030.
- [5] K. Dai *et al.*, “Monitoring activity at the Daguangbao mega-landslide (China) using Sentinel-1 TOPS time series interferometry,” *Remote Sens Environ*, vol. 186, pp. 501–513, 2016, doi: 10.1016/j.rse.2016.09.009.
- [6] M. Manunta *et al.*, “Unsupervised parallel SBAS-DInSAR chain for massive and systematic Sentinel-1 data processing,” *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, vol. 2016–Novem, pp. 3890–3893, 2016, doi: 10.1109/IGARSS.2016.7730010.
- [7] C. De Luca *et al.*, “Automatic and Systematic Sentinel-1 SBAS-DInSAR Processing Chain for Deformation Time-series Generation,” *Procedia Comput Sci*, vol. 100, pp. 1176–1180, 2016, doi: 10.1016/j.procs.2016.09.275.
- [8] R. Tomás *et al.*, “Radar interferometry techniques for the study of ground subsidence phenomena: A review of practical issues through cases in Spain,” *Environ Earth Sci*, vol. 71, no. 1, 2014, doi: 10.1007/s12665-013-2422-z.
- [9] H. A. Zebker and J. Villasenor, “Decorrelation in interferometric radar echoes,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 30, no. 5, pp. 950–959, 1992, doi: 10.1109/36.175330.
- [10] H. A. Zebker, P. A. Rosen, and S. Hensley, “Atmospheric effects in interferometric synthetic aperture radar surface deformation and topographic maps,” *J Geophys Res Solid Earth*, vol. 102, no. B4, pp. 7547–7563, 1997, doi: 10.1029/96JB03804.
- [11] A. Ferretti, C. Prati, and F. Rocca, “Permanent scatterers in SAR interferometry,” *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 39, no. 1, pp. 8–20, 2001.

- [12] A. Hooper, P. Segall, and H. Zebker, “Persistent scatterer interferometric synthetic aperture radar for crustal deformation analysis, with application to Volcán Alcedo, Galápagos,” *J Geophys Res Solid Earth*, vol. 112, no. 7, pp. 1–21, 2007, doi: 10.1029/2006JB004763.
- [13] B. M. Kampes and R. F. Hanssen, “Ambiguity resolution for permanent scatterer interferometry,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 42, no. 11, pp. 2446–2453, 2004, doi: 10.1109/TGRS.2004.835222.
- [14] P. Berardino, G. Fornaro, R. Lanari, and E. Sansosti, “A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 40, no. 11, pp. 2375–2383, Nov. 2002, doi: 10.1109/TGRS.2002.803792.
- [15] S. Vajedian, M. Motagh, and F. Nilfouroushan, “StaMPS improvement for deformation analysis in mountainous regions: Implications for the Damavand volcano and Mosha fault in Alborz,” *Remote Sens (Basel)*, vol. 7, no. 7, pp. 8323–8347, 2015, doi: 10.3390/rs70708323.
- [16] H. Fattahi, M. Simons, and P. Agram, “InSAR Time-Series Estimation of the Ionospheric Phase Delay: An Extension of the Split Range-Spectrum Technique,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 55, no. 10, pp. 5984–5996, 2017, doi: 10.1109/TGRS.2017.2718566.
- [17] A. Hooper *et al.*, “Importance of horizontal seafloor motion on tsunami height for the 2011 Mw=9.0 Tohoku-Oki earthquake,” *Earth Planet Sci Lett*, vol. 361, pp. 469–479, 2013, doi: 10.1016/j.epsl.2012.11.013.
- [18] D. P. S. Bekaert, A. Hooper, and T. J. Wright, “Journal of Geophysical Research: Solid Earth Reassessing the 2006 Guerrero slow-slip event, Mexico:” *Journal of Geophysical Research B: Solid Earth*, pp. 1357–1375, 2015, doi: 10.1002/2014JB011557.1.
- [19] R. F. Hanssen, *Radar interferometry: data interpretation and error analysis*, vol. 2. Springer Science & Business Media, 2001.
- [20] G. Gomba, A. Parizzi, F. De Zan, M. Eineder, and R. Bamler, “Toward operational compensation of ionospheric effects in SAR interferograms: The split-spectrum method,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 54, no. 3, pp. 1446–1461, 2016, doi: 10.1109/TGRS.2015.2481079.
- [21] M. P. Doin, C. Lasserre, G. Peltzer, O. Cavalié, and C. Doubre, “Corrections of stratified tropospheric delays in SAR interferometry: Validation with global atmospheric models,” *J Appl Geophys*, vol. 69, no. 1, pp. 35–50, 2009, doi: 10.1016/j.jappgeo.2009.03.010.
- [22] F. Beauducel, P. Briole, and J.-L. Froger, “Volcano-wide fringes in ERS synthetic aperture radar interferograms of Etna (1992-1998): Deformation or tropospheric effect?,” *J Geophys Res Solid Earth*, vol. 105, no. B7, pp. 16391–16402, 2000, doi: 10.1029/2000JB900095.
- [23] C. W. Wicks, D. Dzurisin, S. Ingebritsen, W. Thatcher, Z. Lu, and J. Iverson, “Magmatic activity beneath the quiescent Three Sisters volcanic center, central Oregon Cascade Range, USA,” *Geophys Res Lett*, vol. 29, no. 7, pp. 2–5, 2002, doi: 10.1029/2001GL014205.
- [24] D. P. S. Bekaert, A. Hooper, and T. J. Wright, “A spatially variable power law tropospheric correction technique for InSAR data,” *J Geophys Res Solid Earth*, vol. 120, no. 2, pp. 1345–1356, 2015, doi: 10.1002/2014JB011558.
- [25] R. Jolivet, R. Grandin, C. Lasserre, M. P. Doin, and G. Peltzer, “Systematic InSAR tropospheric phase delay corrections from global meteorological reanalysis data,” *Geophys Res Lett*, vol. 38, no. 17, pp. 1–6, 2011, doi: 10.1029/2011GL048757.
- [26] R. Jolivet *et al.*, “Improving InSAR geodesy using Global Atmospheric Models,” *J Geophys Res Solid Earth*, vol. 119, no. 3, pp. 2324–2341, 2014, doi: 10.1002/2013JB010588.

- [27] C. Yu, Z. Li, and N. T. Penna, “Interferometric synthetic aperture radar atmospheric correction using a GPS-based iterative tropospheric decomposition model,” *Remote Sens Environ*, vol. 204, no. March 2017, pp. 109–121, 2018, doi: 10.1016/j.rse.2017.10.038.
- [28] J. Hu, Z. W. Li, X. L. Ding, J. J. Zhu, L. Zhang, and Q. Sun, “Earth-Science Reviews Resolving three-dimensional surface displacements from InSAR measurements: A review,” vol. 133, pp. 1–17, 2014, doi: 10.1016/j.earscrev.2014.02.005.

A. Appendix

A.1. Stockholm case study

A.1.1. Survey points vs. InSAR-Sweden points

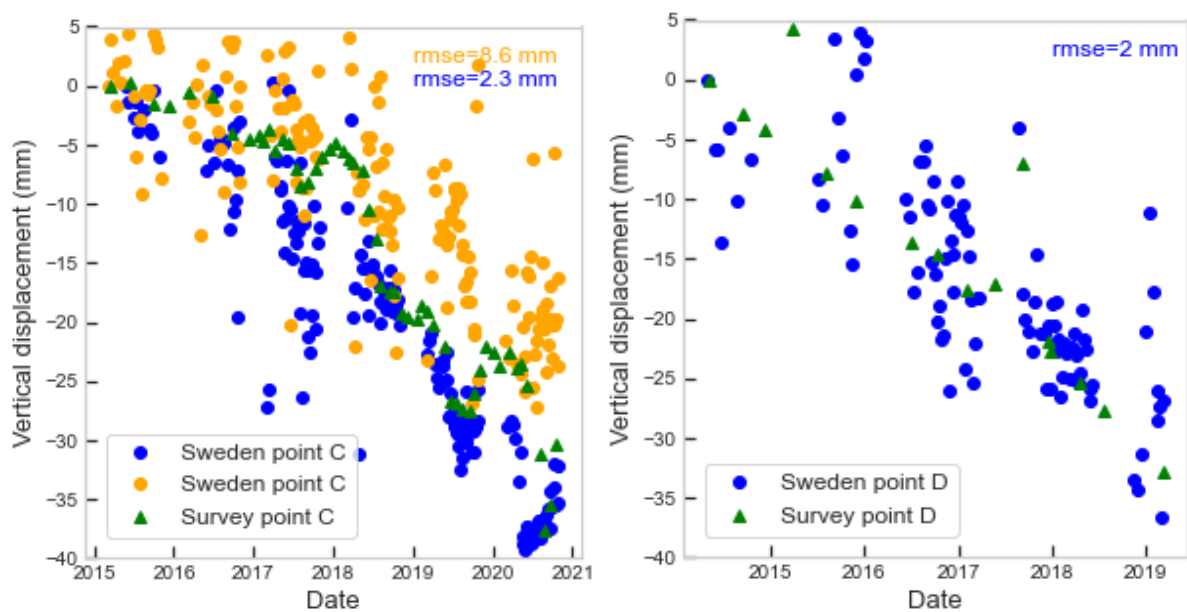


Figure 2A. Time-series vertical displacement of the InSAR and survey points. In the circle “C” on the Fig. 2 on the right panel, we have two Sweden points “C”, which are related to the ascending (orange points) and descending (blue points) modes.

A.2. Gothenburg

A.2.1. Survey points vs. InSAR-Sweden and InSAR-Gamma points

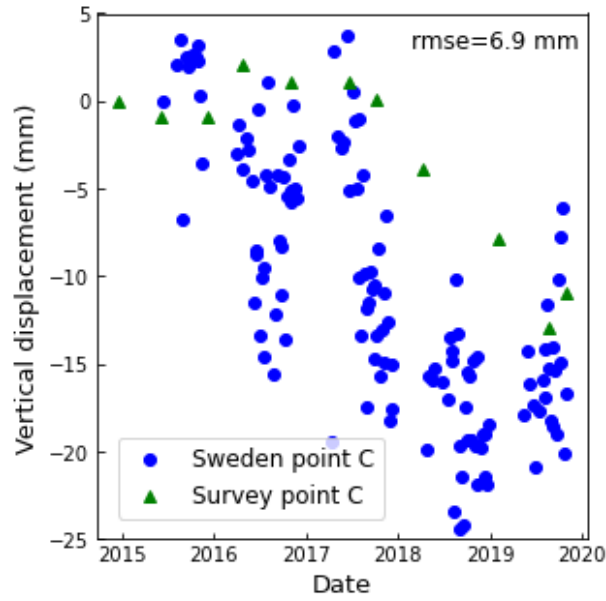
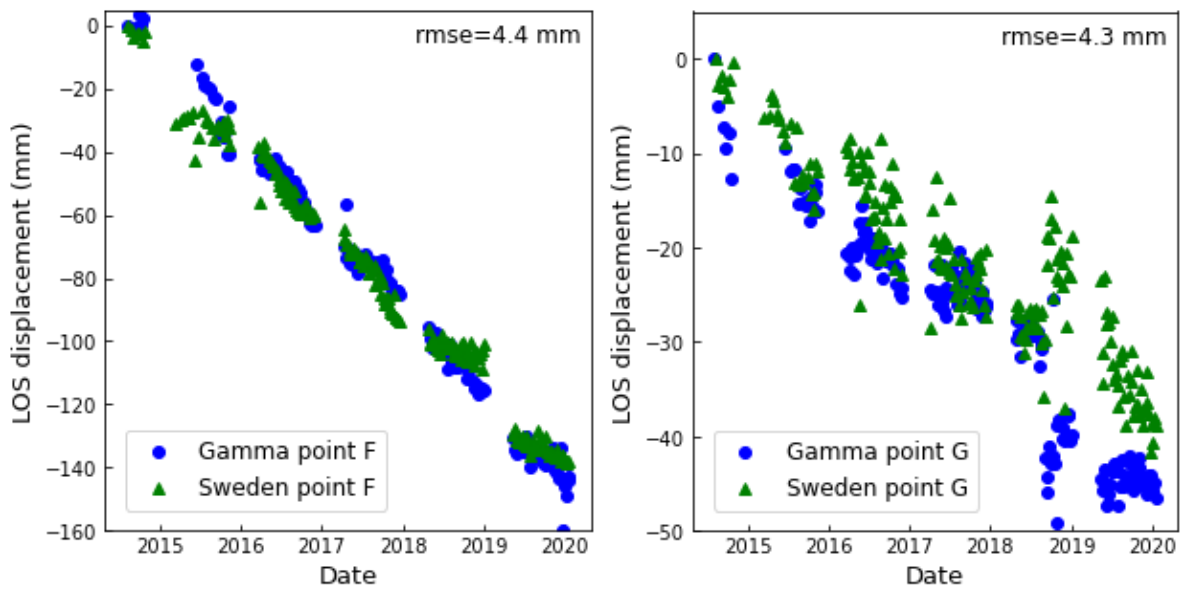
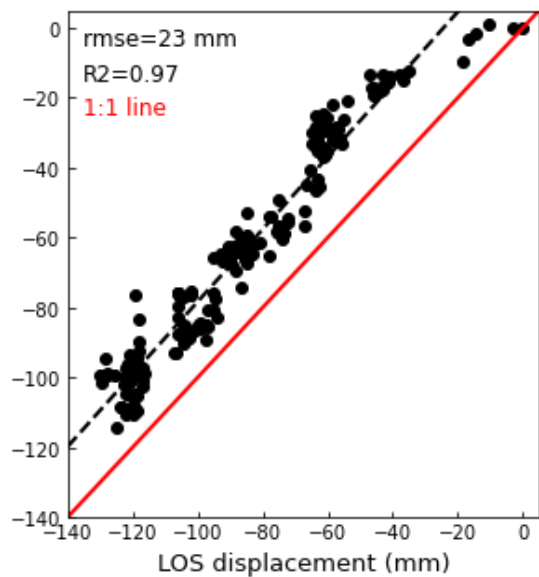
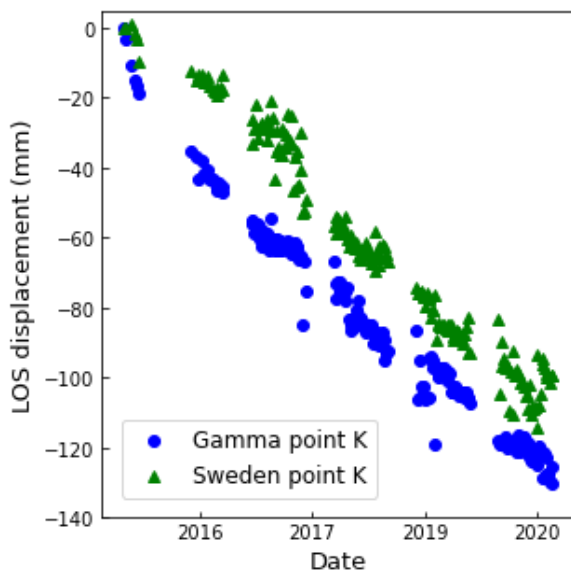
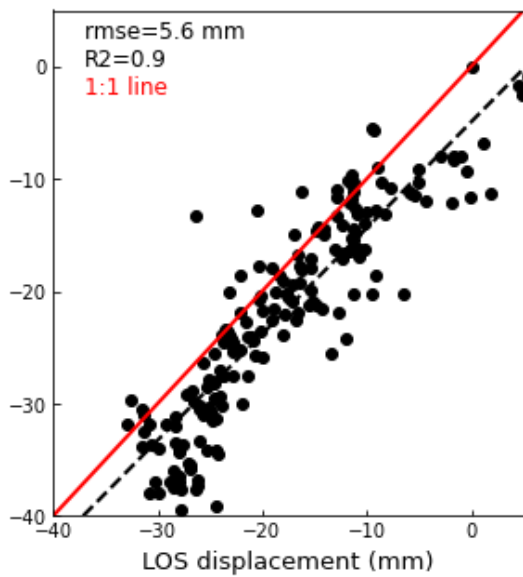
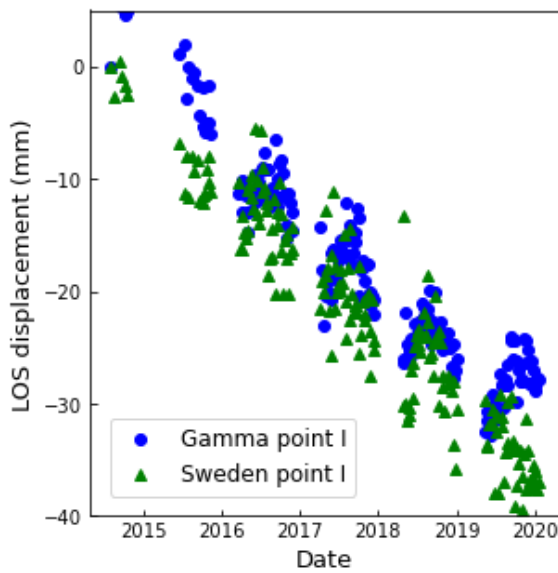
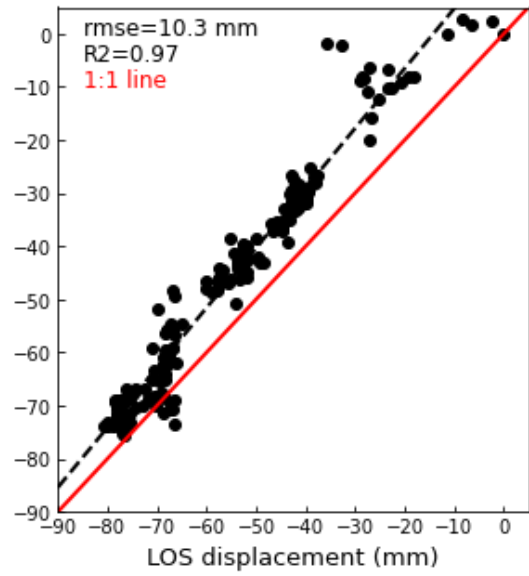
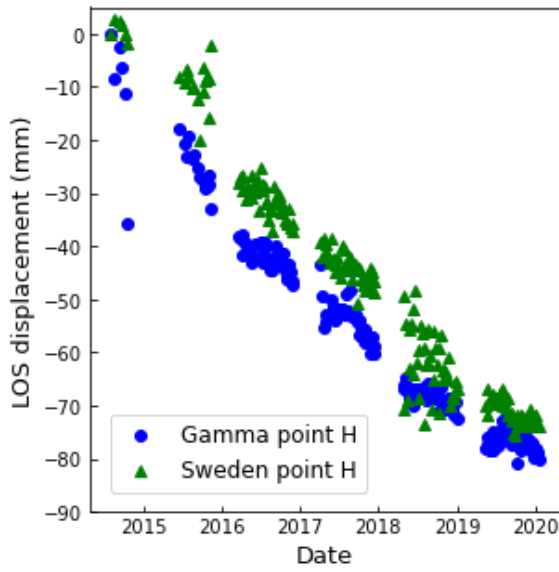


Figure 5A. Cross-comparison plot of the survey point and InSAR-Sweden (Sweden point).

A.2.2. InSAR-Sweden points vs. InSAR-Gamma points





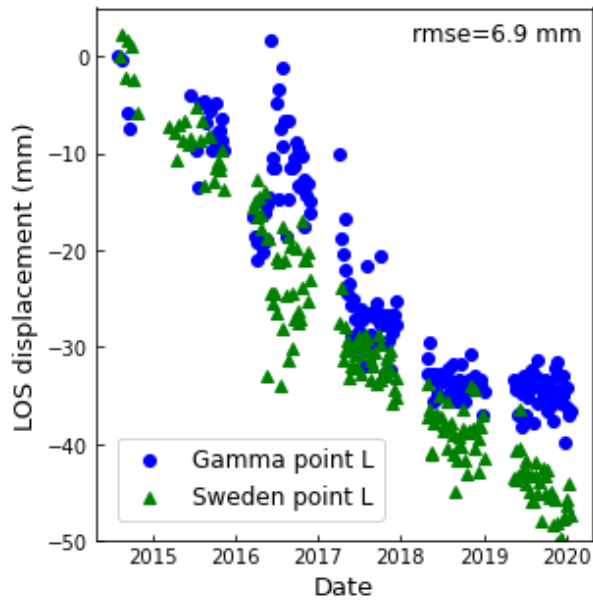
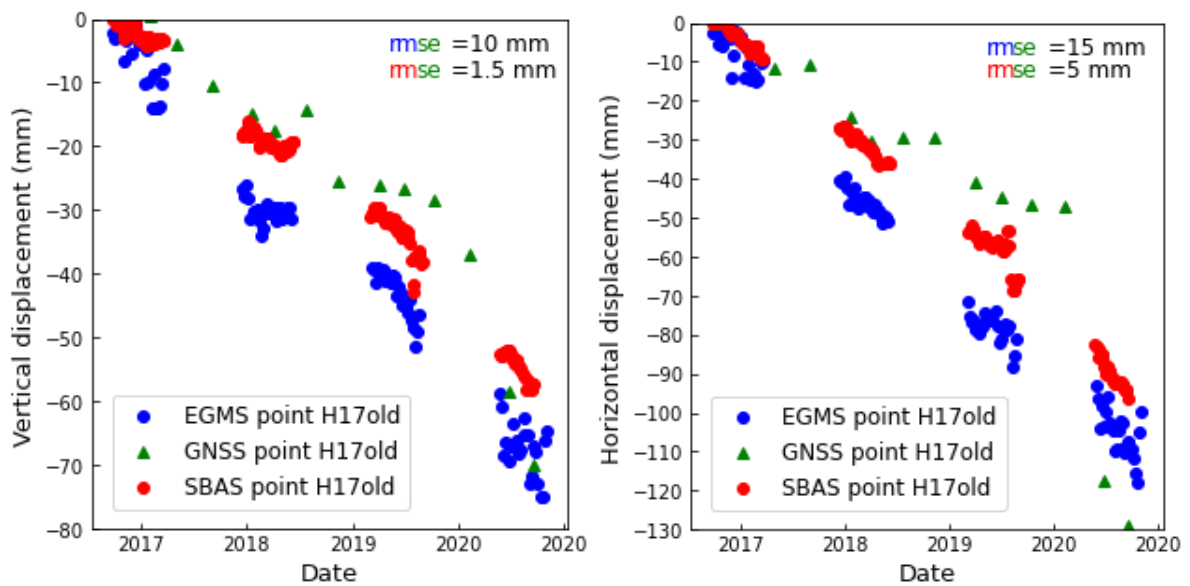


Figure 6A. The time-series displacement and scatter plots of the cross-comparison between the InSAR-Sweden (Sweden point) and InSAR-Gamma (Gamma point) points both derived by PSI processing for Gothenburg. When the

A.3. Kiruna

A.3.1. 2D GNSS-LKAB points vs. InSAR-EGMS vs. InSAR-SBAS points



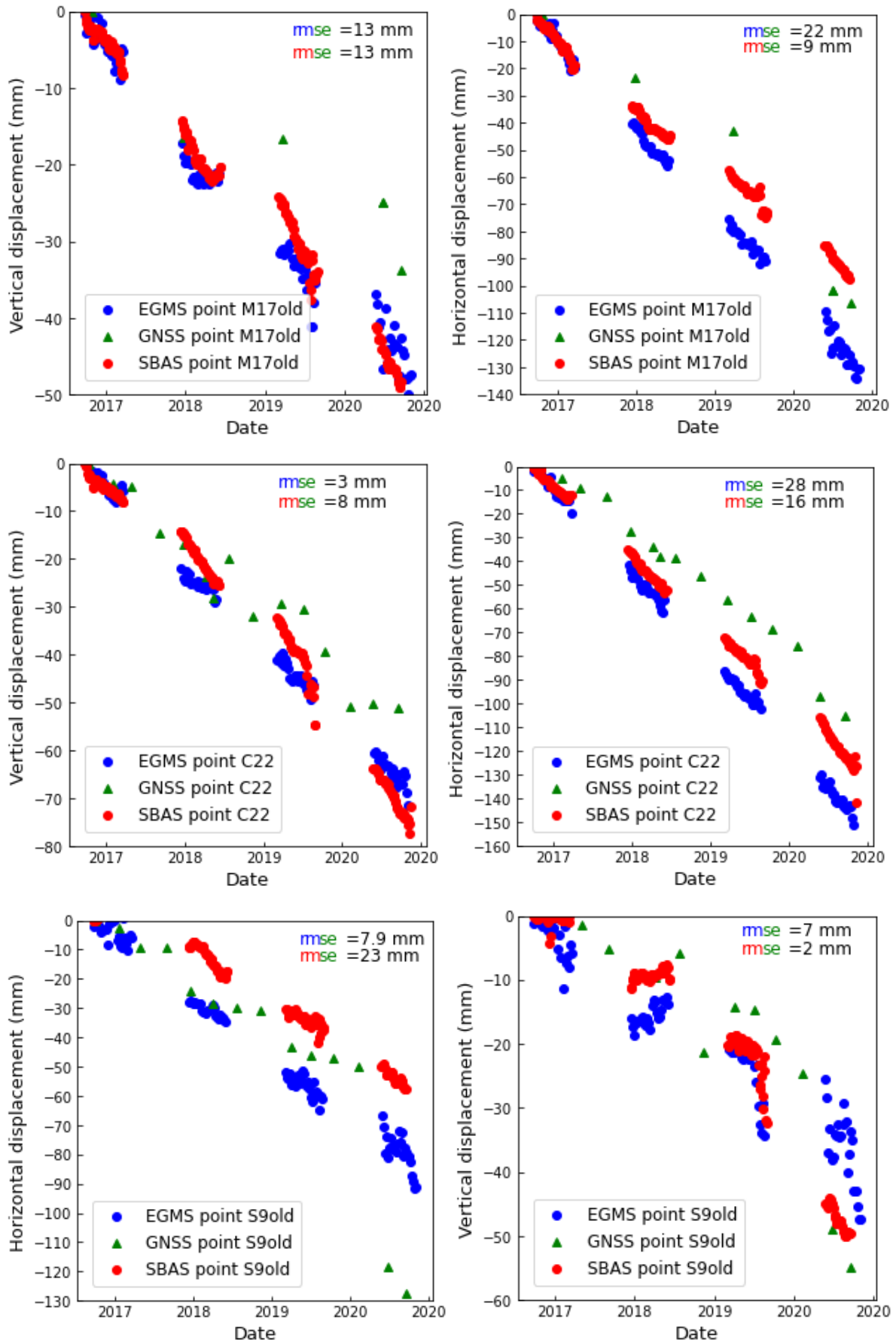
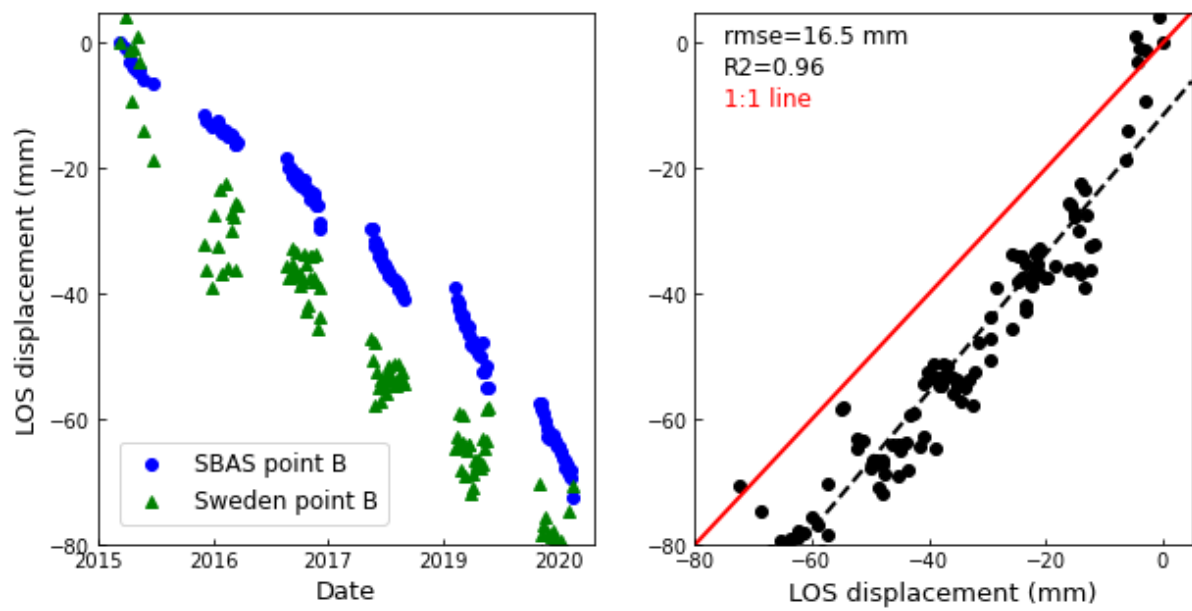
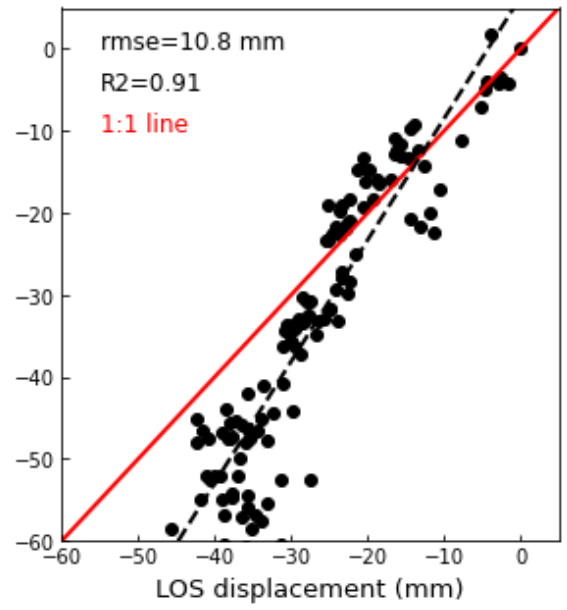
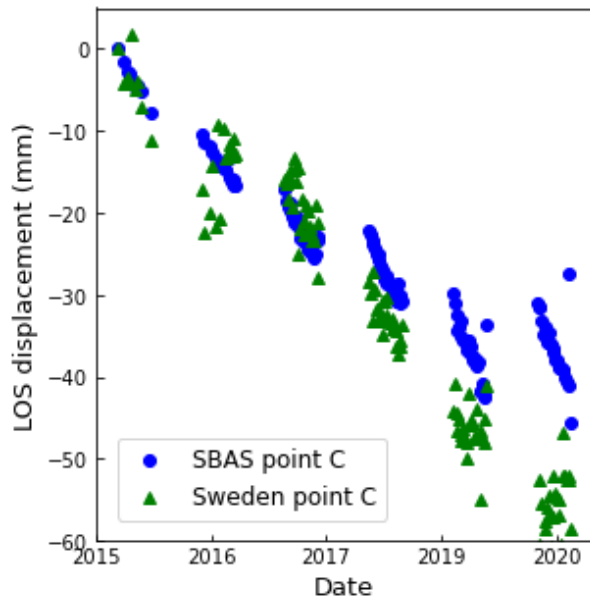
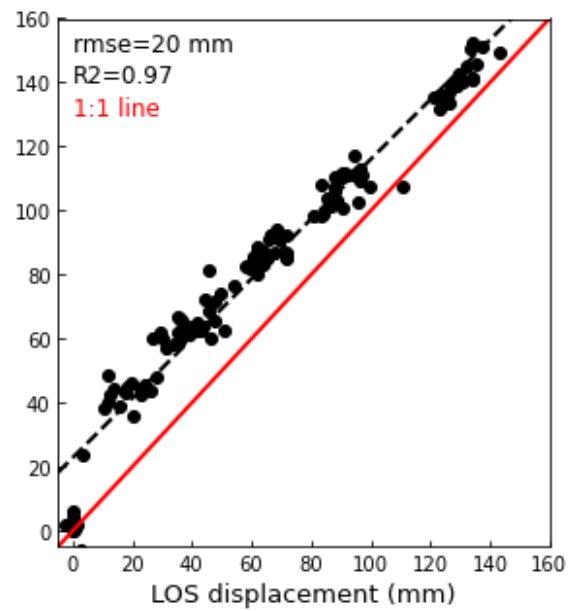
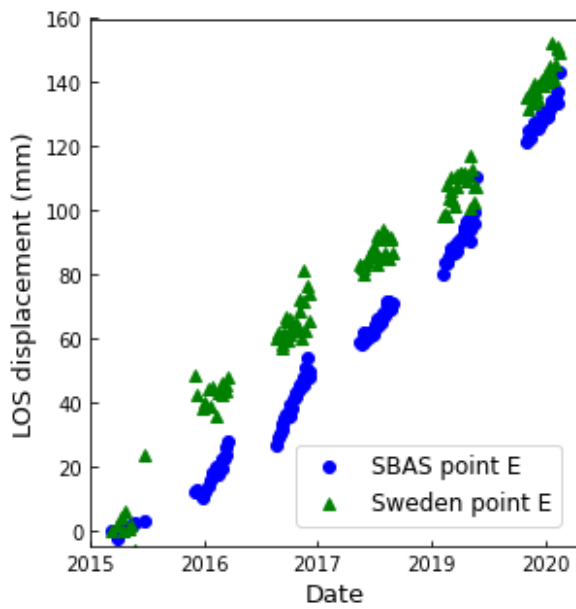
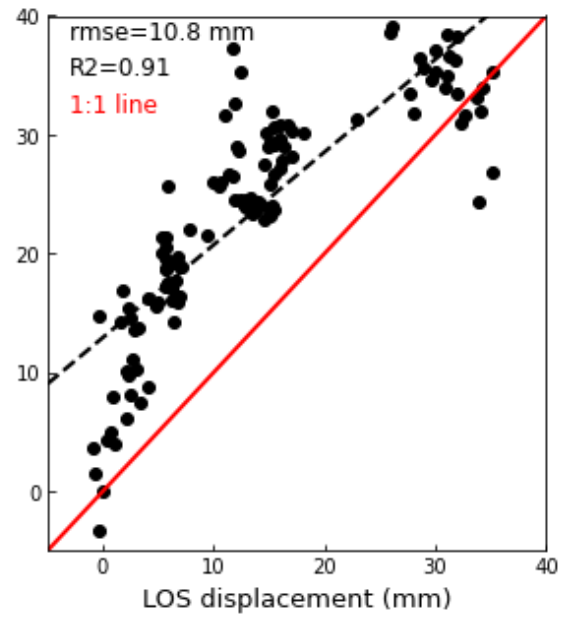
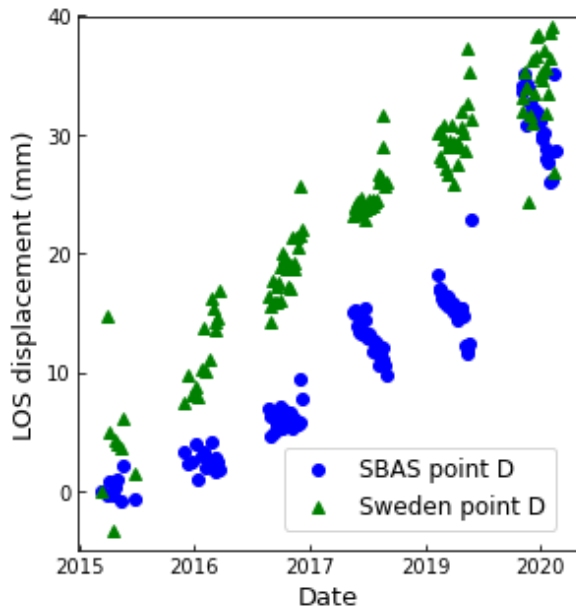


Figure 8A. The cross-comparison plots of the EGMS, SBAS and GNSS points.

A.3.2. LOS InSAR-Sweden points vs. LOS InSAR-SBAS points







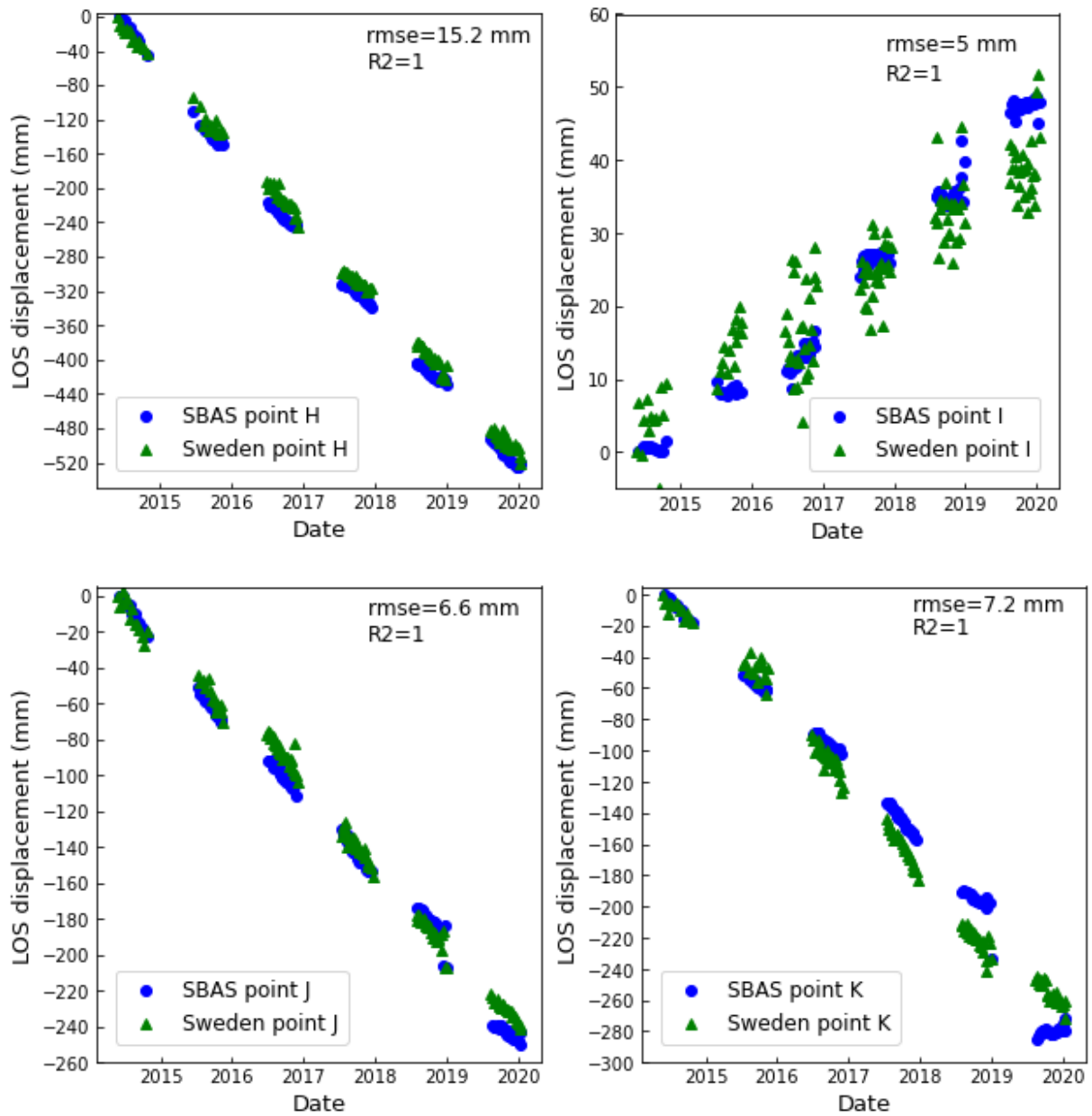


Figure 10A. The time-series displacement and scatter plots of the cross-comparison between the InSAR-Sweden (Sweden points) and InSAR-SBAS (SBAS point) points for Kiruna.

Activity Report: Contributions from Lantmäteriet to the InSAR-Sweden Project

Faramarz Nilfouroushan^{1,2}, Nureldin Gido¹, Per-Anders Olsson¹,
Chrishan Puwakpitiya Gedara¹

¹ Department of Geodetic Infrastructure, Lantmäteriet, Gävle, Sweden

² Department of Computer and Geospatial Sciences,
University of Gävle, Sweden

LANTMÄTERIET



Gävle 2023

Authors: Faramarz Nilfouroushan, Nureldin Gido, Per-Anders
Olsson, Chrishan Puwakpitiya Gedara

Total number of pages: 40

Lantmäterirapport 2023:1 ISSN 0280-5731

Summary

The two-year Swedish Ground Motion Service (InSAR-Sweden) project was started in 2021 and made a collaboration between the Geological Survey of Norway (NGU) and several Swedish organizations, including Lantmäteriet. During the project, the InSAR-based ground motion service has been developed by NGU using Sentinel-1 data (2015–2021) and the Persistent Scatterer Interferometry (PSI) technique and is freely available for interested users. There were different working groups in the project and Lantmäteriet has contributed mostly to working group WP#3 which is the “validation of deformation data”.

We used the PSI results of previous studies for Uppsala and Gävle cities to validate the newly launched InSAR-Sweden ground motion service. We compared the deformation localization and Line of Sight (LOS) displacement time series at some deforming locations. Although the number and acquisition dates of Sentinel-1 data and the parameters used for PSI processing differ between Uppsala, Gävle and InSAR-Sweden, the cross-checked results demonstrate good agreement between corresponding studies regarding the localization and rate of subsidence in those two cities over a period of five years.

During the project, Lantmäteriet installed several types of radar corner reflectors (CR) in different locations in Sweden. These corner reflectors are passive devices which provide precise measurement points and can be installed at desired locations. These devices can be used to measure temporal LOS changes and consequently the ground movements precisely using the InSAR technique. The plan is to continue and complement the national geodetic infrastructure with at least 20 passive reflectors which are collocated with permanent GNSS stations and/or tide gauges. Among others, these co-located permanent GNSS stations and corner reflectors can potentially contribute to the development and validation of the national (InSAR-Sweden) and European ground motion (EGMS) services. Moreover, the co-location helps to transform the relative ground motions estimated with InSAR to an absolute geodetic reference frame.

In this activity report, we provide a brief introduction to SAR corner reflectors and their applications, and we explain our progress in installing such reflectors in Sweden. We also present our preliminary results from our data analysis. Moreover, we explain our cross-checking of the results obtained from InSAR-Sweden with the InSAR-based studies conducted for Uppsala and Gävle cities.

Table of Contents

1. INTRODUCTION	5
2. DEVELOPMENT OF GEODETIC INFRASTRUCTURE IN SWEDEN USING SAR CORNER REFLECTORS	6
2.1. COHERENT RADAR TARGETS AND ARTIFICIAL CORNER REFLECTORS	6
2.2. PASSIVE CORNER REFLECTOR DESIGN AND TESTS	10
2.3. INSTALLATION OF CORNER REFLECTORS IN SWEDEN	14
2.4. CORNER REFLECTORS AND MULTIPATH EFFECT ON NEARBY GNSS STATION COORDINATES	18
2.5. DATA ANALYSIS WITH GECORIS	20
2.5.1. <i>SCR simulation</i>	21
2.5.2. <i>SCR and RCS estimation</i>	23
3. CROSS-CHECKING OF INSAR-SWEDEN AND PREVIOUS STUDIES	24
3.1. NATIONWIDE GROUND MOTION SERVICE (GMS) OF SWEDEN (INSAR-SWEDEN)	25
3.2. GÄVLE CITY GROUND MOTION STUDY AND COMPARISON WITH INSAR-SWEDEN	25
3.3. UPPSALA CITY GROUND MOTION STUDY AND COMPARISON WITH INSAR-SWEDEN	30
4. DISCUSSION AND CONCLUSION	33
5. PRESENTATIONS AT NATIONAL AND INTERNATIONAL CONFERENCES/MEETINGS	34
6. PLANS AND THOUGHTS FOR THE FUTURE	35
7. ACKNOWLEDGEMENTS	35
8. REFERENCES	35
9. APPENDIX	38

Activity Report: Contributions from Lantmäteriet to the InSAR-Sweden Project

I. Introduction

The interest in using Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) for ground motion monitoring is rapidly increasing, thanks to the Copernicus Sentinel-1 satellites which cover relatively large areas with a 12-days revisit time. The ground motion of many locations, especially urban areas around the world have been studied using Sentinel-1 data and the rate and localization or distribution of ground deformation have been reported. For Sweden, for example, Fryksten and Nilfouroushan (2019) and Gido et al. (2020) studied the active ground subsidence in Uppsala and Gävle cities using the Sentinel-1 data collected between 2015–2020. Today, fortunately, we have the nationwide ground motion service of Sweden (<https://insar.rymdstyrelsen.se>) covering almost the entire country, providing free and accessible ground motion data useful for many applications including land subsidence, landslides, and infrastructure health monitoring.

Since 2019, Lantmäteriet, the Swedish mapping, cadastral and land registration authority, has been actively involved and contributed to the initiation and implementation of the InSAR-based ground motion service of Sweden (hereafter called InSAR-Sweden) and has mostly contributed to the work package WP#3, i.e., “Validation of deformation data” for the InSAR-Sweden project (“Utvärdering och nyttoanalys av rikstäckande InSAR-tjänst” in Swedish) which was granted in 2020. In addition, before and during the project Lantmäteriet has been developing new geodetic infrastructure in Sweden using InSAR reflectors/transponders which have different applications including calibration of the InSAR-based products in future.

This report, which reflects Lantmäteriets’ activity and contributions to the InSAR-Sweden project, consists of five sections: the first one shortly introduces corner reflectors, different types and designs and applications and continues with our activity for designs and installations of such reflectors in Sweden. Such corner reflectors have different applications for example for deformation monitoring and geodetic infrastructure maintenance in Sweden. The second section is about the validation and cross-checking of the InSAR-Sweden PSI-based (Permanent Scatterers Interferometry) results with the ones previously published for two cities in Sweden i.e., Uppsala city (Fryksten and Nilfouroushan, 2019) and Gävle city (Gido et al., 2020). In the third section, discussion and conclusions are

presented and then, in the fourth section, we list the Lantmäteriet activity for the project-related presentations at national and international conferences/meetings/workshops independently or together with co-workers of the project. In the end, plans and thoughts for the future are presented.

Lantmäteriet has also participated in an activity related to atmospheric corrections study for the project, a collaboration with researchers at the Chalmers University of Technology. That contribution isn't reported here but is included in the Chalmers University of Technology's technical report.

2. Development of geodetic infrastructure in Sweden using SAR corner reflectors

In this section, firstly the SAR corner reflectors and their applications are introduced and then continued with the corner reflector types and the ones which have been designed and tested for installations by Lantmäteriet. The progress in the installation of corner reflectors in Sweden is reported and the preliminary data analysis for a couple of reflectors is presented.

2.1. Coherent radar targets and artificial corner reflectors

Persistent Scatterers (PS) are coherent radar targets that can be distinguished in all SAR images and have a relatively steady phase history. For example, roads, bridges, bare rocks, buildings, and towers are examples of scatterers (reflectors) that are visible and can be tracked in SAR images and monitored over time. The PS points do not exist everywhere, and the number and density of PS points are lower in vegetated, forested, and low-reflectivity areas (Crosetto et al. 2016). The lifetime of a PS point sometimes is limited, for example, due to the re-pavement of a street or destroying a building in which consequently the object (PS) acts as a reflector for a limited period. This means PS points are born and sometimes die and there is no guarantee to be available all the time for InSAR applications. On the other hand, artificial reflectors (SAR corner reflectors or transponders) can be considered and installed in desired locations. If well maintained, they can survive for a long period at least for several years. There are different goals or applications for the installation of artificial SAR reflectors:

- To make a measurement point at the desired location to monitor the movements with the InSAR technique accurately.
- Improve spatial sampling in areas where there are no natural persistent scatterers (e.g., grass fields).
- Link and comparison between InSAR and other techniques (e.g., co-location of the reflector with GNSS stations, tide gauges and/or absolute gravity points).
- Assign a geodetic reference frame to InSAR results with the relative motion to make them absolute in a well-defined reference frame.
- Accurate georeferencing of the PS measurement points by knowing the corner reflector's location with a few cm of accuracy.

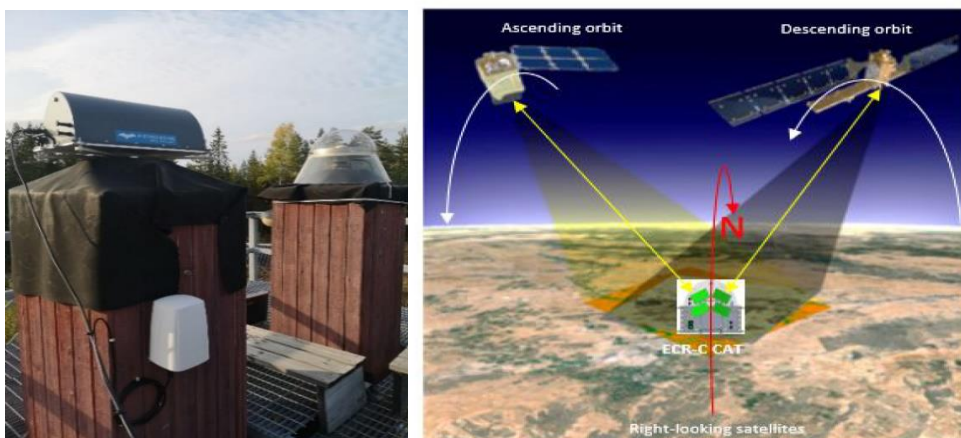
- Link between different tracks (of ascending or descending) of the same InSAR system (e.g., Sentinel-1 or TerraSAR-X) and/or, the connection between different InSAR satellite systems (e.g., Sentinel-1 and TerraSAR-X).
- Calibration of satellite imagery systems (e.g., Sentinel-1, NISAR) which is carried out by system developers (e.g., see Figure 1).

Figure 1, Two of the trihedral triangular corner reflectors installed in Texas for NISAR calibration (Information about Oklahoma and Texas NISAR Calibration Array can be found in the following link: <https://uavsar.jpl.nasa.gov/cgi-bin/calibration-nisar.pl>).



Artificial corner reflectors have been mostly in a passive form which functions as just signal reflectors without any electricity (see Figure 1) whereas recently the active ones (transponders, see Figure 2) have been developed and used in many experiments.

Figure 2, Left, transponder (also called Electronic Corner Reflector (ECR) or Compact Active Transponder, CAT) installed beside the permanent GNSS station MAR6 at Mårtsbo. The white box is the Wi-Fi router for remote access to the transponder for checking the files and possible updates of the satellite configurations. The right image shows the transponder which works for both ascending and descending orbits (the right figure is from @Metasensing ECR manual).

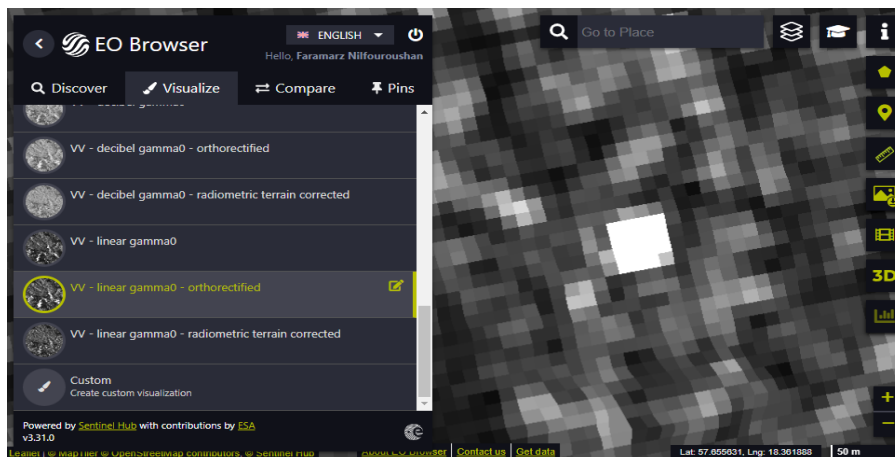
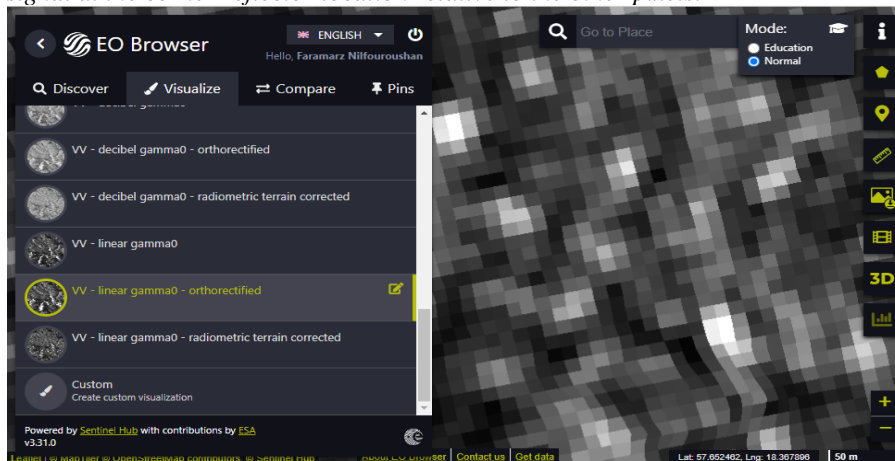


During 2019–2021 Lantmäteriet participated in the ESA-founded project, Geodetic SAR for Baltic Height System Unification, led by the Technical University of Munich (Gruber et al., 2020). The main goal of the project was to investigate the feasibility to connect tide gauges and national height

systems around the Baltic Sea using absolute positioning by SAR, via active transponders which in principle act as passive reflectors but have electronics and need configuration. During that project, three active transponders were installed in Sweden at the SWEPOS stations in Mårtsbo, Kobben and Vinberget and they are now still fully operational. The descriptions and the results of the project are available in the final report and two peer-reviewed journal articles (Gruber et al., 2020, 2021 and 2022).

Passive corner reflectors (see Figure 1) have been already installed and tested in many places for different applications, for example, in the Netherlands for geodetic applications (Kamphuis, 2019) and Slovakia or Italy for landslide monitoring (Czikhardt et al., 2021, Darvishi et al. 2018). Corner reflectors have shown their high potential for the detection of mm-level ground displacements using the comparison with GNSS or precise levelling (e.g., Marinkovic et al., 2007). Moreover, co-localizing of the corner reflectors with GNSS stations and tide gauges has been carried out in many places for geodetic applications and geodetic infrastructure development (Garthwaite et al., 2017, Gruber et al., 2022, Kamphuis, 2019).

Figure 3, Intensity images (in GRD format made in EO Browser) before (top) and after (bottom) passive corner reflector installation in Visby on March 2022. Note the whitish pixels in the centre of the bottom image which clearly shows the stronger backscattering signal at the corner reflector location relative to the other pixels.



As mentioned before, radar reflectors are either active (transponders or ECRs) or passive and there are pros and cons for both types as summarized in Table 1.

Table 1, Comparison of the passive and active radar reflectors (modified after Czikhardt 2021).

Reflector	Passive (corner reflector)	Active (transponder)
Complexity	Simple, easy to manufacture, no electronics, no need for electricity	Relatively complex electronic device, need a power supply (direct or solar panels)
Size	Large/bulky (esp. for C and L bands)	Small/compact
Environmental susceptibility	Conspicuous (vandalism), wind-loading, clogging (debris, precipitation, if no cover to protect)	Temperature, snow/ice cover
Maintenance	Minimal (clogging) if no snow cover	Power supply, GPS clock synchronization, firmware updates, satellite configuration updates
Cost and availability	Size and shape cost dependent, relatively cheap, various shapes	More expensive, limited manufacturers new on the commercial market
Selectiveness	Always on, multiple frequencies/polarizations	Selective (e.g., C/X-band, polarization, on-time)
SAR geometry	Mostly single, but also double geometry (ascending or descending)	Double (both ascending and descending)
RCS	Size, shape, and orientation-dependent, good temporal stability	RF-chain and orientation-dependent, temporal

Reflector	Passive (corner reflector)	Active (transponder)
		stability susceptible to temperature
SAR positioning	Known apex location and easy to measure	Antenna phase centre offsets necessary, antenna-specific internal electronic delays
InSAR	Phase-stable	Phase stability dependent on RF chain, temperature-dependent, possible secular drift
Multi-year reliability	Well-verified (possible damage, vandalism)	Individual calibration recommended (drift, temperature variations, electronics degradation)
GNSS co-location	Can be installed at or near the GNSS stations, robust construction required, it may make multipath depends on the shape, size and orientation of the CR and distance to the GNSS antenna	Smaller size and lightweight and possible to install at existing GNSS masts /pillars, flexible mounting options required for maintenance

2.2. Passive corner reflector design and tests

Manufacturing of the passive corner reflectors relative to transponders is simpler because of no electronic parts. Many factors including the application, weather, materials, background noise at the installation point, and the satellite signal wavelength and orbit geometry, should be considered for the design and installation of such reflectors. Accordingly, the size, shape and materials of the CR are selected. The corner reflector's signal must be visible in the SAR image which means the backscattered signal should be stronger than the background signal level (the 'clutter'). In Figure 3, we notice the brightness of the pixels and we see some locations are more whitish (noisy), which means these are not possibly good candidates for the installation of CRs. The strength of the signal reflected by CR with respect to its surrounding reflections can be measured and is called the Signal-to-

Clutter Ratio (SCR). The random phase variations resulting from nearby scatterers in a pixel (see Figure 4) affect the measured phase of the dominant scatterer and therefore can make errors for point target (e.g., CR) measurements. The LOS measurement accuracy has a direct correlation with the SCR value as shown in Figure 5.

According to Garthwaite et al., (2017), the Radar Cross Section (RCS) of an imaged target is a measure of the size of that target as seen by the imaging radar. The expected RCS value of a reflector depends on the total reflective surface of the CR and the wavelength of the transmitted radar signal (λ in Table 2). For C-band (in the case of Sentinel-1), the wavelength is $\lambda = 5.6$ cm. The inner leg of the CR is shown by “L” in Figure 6.

Figure 4, All scatterers including the dominant one and the nearby objects in a pixel contribute to the phase measurements (ϕ) (modified after Garthwaite et al., 2017).

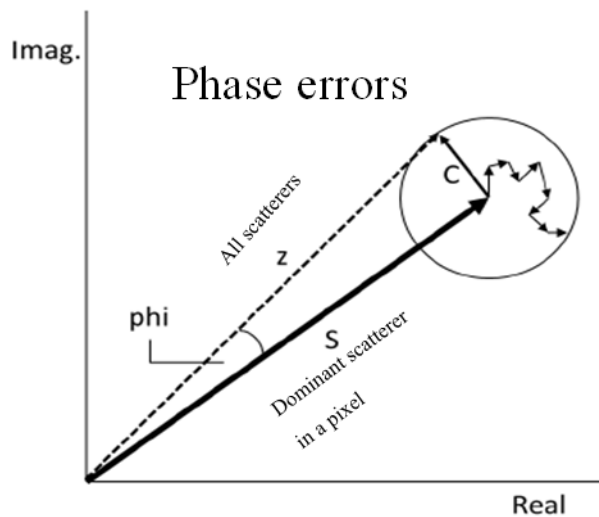


Table 2, Theoretical RCS of some of the common CR types.

Reflector type	Maximum RCS
Triangular trihedral	$4\pi L^4 / 3\lambda^2$
Square trihedral	$12\pi L^4 / \lambda^2$

Using the formulas listed in Table 2, we can see for example for a squared trihedral type of corner reflector with an inner leg length of $L = 0.7$ m, the expected RCS is 34.7 dBm² (see Figure 6) and for a trihedral triangular shape with the same inner leg, is 25.1 dBm² which is weaker than the squared shape. In practice, these values cannot be achieved exactly due to various attenuations and possible orientation errors of the CR.

Figure 5, LOS displacement error as a function of estimated signal-to-clutter ratio (SCR) (modified after Garthwaite et al., 2017). For example, the 20 dB SCR, allows reaching about 0.5 mm precision of a single C-band LOS InSAR measurements. However, there are other sources of errors (e.g., orbital errors, etc.) that also contributes to the final precision of the measurements.

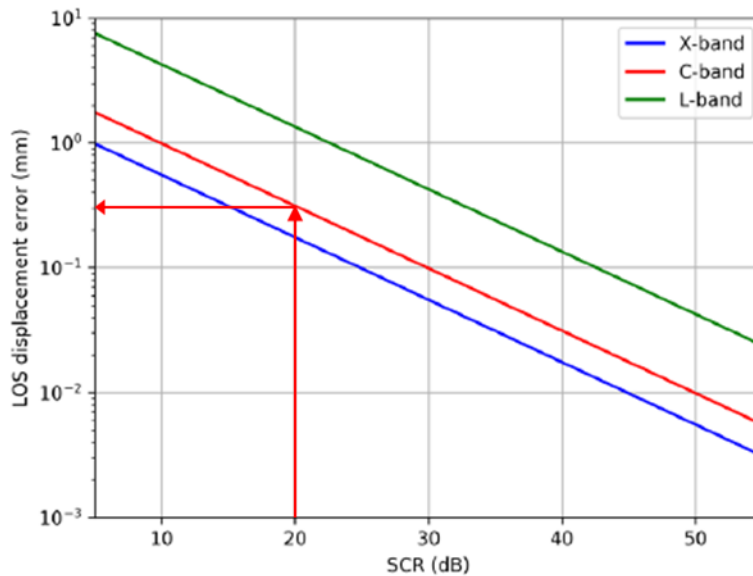
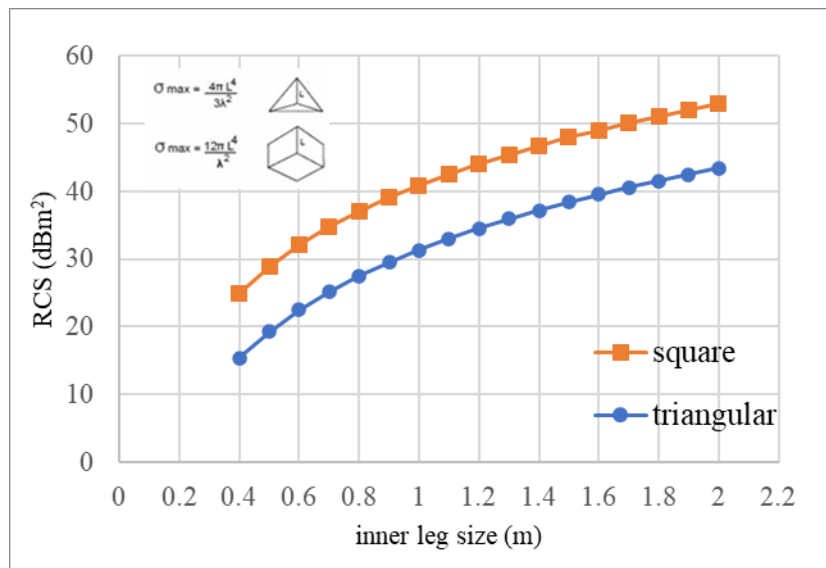


Figure 6, RCS vs inner leg size (L), C-band (Sentinel-1), for trihedral triangular and squared corner reflectors (see their shapes in the inset figure) (modified after Garthwaite et al., 2015).



Since 2018, Lantmäteriet has been considering corner reflectors for geodetic applications and as such has done a literature review and contacted several companies and organizations to find the best design for the CR’s and to find the manufacturers. The double-back flipped (squared version) type was suggested by SDFI (Danish Agency for Data Supply and Infrastructure) and the common type of trihedral triangular one was considered to start with for tests and experiments. After several meetings with a Swedish company MK3D (<https://www.mk3d.se/>), three trihedral triangular CR’s with an

inner leg of 1 m, 5 mm thick aluminium plates, and snow cover (Plexiglass which is radar transparent) and one double-back flipped squared version with 60 cm inner leg, 5 mm thick aluminium plates was ordered. The expected (theoretical) RCS for these types of CRs is around 31 dBm² which is sufficient for geodetic applications. The CRs were tested temporarily in the Mårtsbo test field on the wooden pallets (see Figure 7) for some time at the beginning of 2021 and oriented for both ascending and descending orbit geometries. After checking their backscattered images in the Sentinel Hub EO browser (<https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/>) and SNAP software, and knowing they function well, they were transported to the other locations for permanent installations.

Figure 7, Experiments with corner reflectors in Mårtsbo test field. Learning how to orient triangular and double-back flipped squared types for Sentinel-1 ascending and descending tracks.



We sent two of our triangular trihedral CRs to the Chalmers University of Technology (see figures in Appendix) and did some backscattering analysis to suggest the proper location of CR installation at the Onsala space observatory. The double backflipped squared CR was installed in Norrköping airport (see Figure 14). We also designed and tested two trimmed versions of the squared types (1 m inner leg, 3 mm thick aluminium plates, powder coated, with snow protection cover and with expected RCS of 40 dBm²) and installed them in Visby near our twin GNSS stations, see figures in Appendix). After some experiments, and preference for only one CR installation at each site (which is easier, cheaper and has the advantage of monitoring the movements of the same location on the bedrock), we decided to choose the double backflipped squared trihedral types with 72 cm inner leg which is mounted on a single mast and is visible on both ascending and descending tracks. To make it lighter, but still strong enough, we chose a 3 mm thickness of metal plates for the latest CRs. The expected RCS for these types of CRs (for example the one installed in SVEG, see the Appendix) is about 35 dBm². We ordered 15 of these types

and will continue installing these CR's this year and next year. The apex (the corner point or intersection point of the three metal plates of the CR) measurement and orientation of the CR's were carried out using Network RTK GNSS measurements (1-3 cm positioning accuracy).

2.3. Installation of corner reflectors in Sweden

There are different factors which are considered before the installation of InSAR corner reflectors. These factors are, for example, the location of the study area, application (e.g., landslide or geodetic applications), project lifetime (e.g., long-term monitoring for geodetic infrastructure or a short term like landslides) and some general aspects like sky visibility, accessibility and ease of CR transportation, theft and/or vandalism and having landowner's permission.

For Lantmäteriet, one of the main reasons for installing the corner reflectors is to develop the geodetic infrastructure and co-locate the CR's with some of the well-established GNSS stations (e.g., Class-A stations which are for geodynamic applications and maintenance of the national reference frames, read more in Alfredsson et al., 2019). Since the Class-A GNSS stations are all installed on the bedrock, therefore the CR should also be installed on the same or close-by bedrock for better comparison of the time series of the station's movements (CR vs GNSS) with the assumption that they both sense the same bedrock motions. However exposed bedrock (depending on their extent and roughness), sometimes contribute to the large background noise and therefore SCR analysis is needed in advance to find the best possible location for CR installation to reach the mm-level accuracy and to make the CR useful for geodetic applications.

Sky visibility is also important for choosing the location. The CR should be oriented toward the satellite (azimuth and elevation angles are calculated based on the location of the CR and the known orbit geometry of the satellites (e.g., Sentinel-1 in our case). If CR is only oriented for ascending or descending tracks there will be less problem in finding the suitable location, but if the CR is tracking both ascending and descending satellites then both ascending and descending LOS directions (approximately in azimuths of 100° (descending) and 260° (ascending) for Sweden) should be checked and there shouldn't be any trees/buildings/towers which cause masking the transmitted radar signal. The most common threats are also tree growth and nearby high-rise building constructions. Therefore, a field reconnaissance, checking the aerial photos, maps, etc., in advance and after installations in a regular manner, are important. In case, maybe a routine to clear the obstructing trees after some years is needed.

Most of the suitable locations, close to GNSS stations, to place a CR are not owned by Lantmäteriet and therefore getting permissions from the landowner is required and needs to have cared for well in advance. The properties which have been already rented by Lantmäteriet for GNSS stations are for a certain period from private or state landowners. Before installing a CR, it is essential to check for permission and update the

agreements accordingly so that the legal requirements are satisfied. A double backflipped squared trihedral CR approximately requires an 8m^3 area of space in 3D.

Apart from the physical requirements of the AOI (area of interest) to place a CR in any location, another important factor to be considered is the SCR in the AOI. The signal-to-clutter ratio (SCR) plays a major role in positioning precision and InSAR phase variance. A higher SCR for a fixed detection threshold will increase the detection probability of the desired signal from noise. The areas with lower SCR ($\sim < 20$ dB) should be avoided if possible. We use GECORIS toolbox (Czikhardt et al., 2021) to carry out such simulations and later in section 1.5, the results of SCR simulations for Norrköping CR are presented.

So far, ten passive corner reflectors have been installed in Sweden by Lantmäteriet except two which were sent to Chalmers University of technology and installed by the staff in the Onsala space observatory (see Table 3 and photos in Appendix). The distribution of these reflectors and transponders is shown in Figure 8.

Figure 8, Distribution of the transponders and newly installed passive corner reflectors in Sweden. As listed in Table 3, there are two corner reflectors at Visby and Onsala. Coordinates are in SWEREF 99 reference frame.

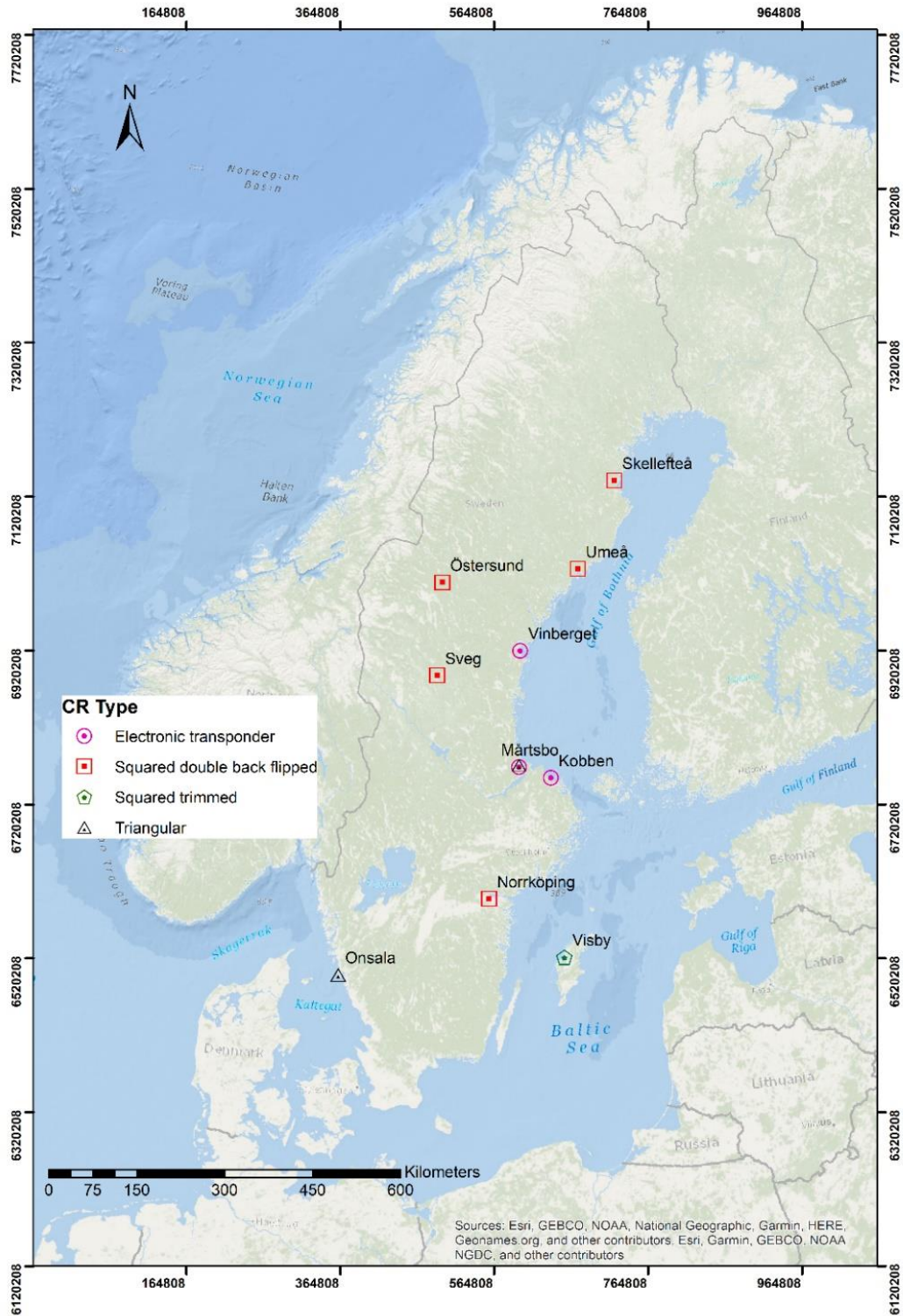


Table 3, Installed corner reflectors and transponders in different locations in Sweden (coordinates are in SWEREF 99 reference frame)

ID	Latitude	Longitude	Location	Passive/Active	Date of Installation	Type	Orientation
ECR01	60.5951	17.2585	Mårtsbo	Active	2020-01-07	Electronic transponder	Asc and Desc
ECR02	60.4099	18.2303	Kobben	Active	2020-06-01	Electronic transponder	Asc and Desc
ECR03	62.3739	17.4279	Vinberget	Active	2020-10-01	Electronic transponder	Asc and Desc
CR01	57.3949	11.9220	Onsala	Passive	2021-06-01	Triangular	Asc
CR02	57.3950	11.9222	Onsala	Passive	2021-09-10	Triangular	Desc
CR03	60.5946	17.2596	Mårtsbo	Passive	2021-09-14	Triangular	Asc
CR04	58.5900	16.2451	Norrköping	Passive	2021-11-04	Double back flipped squared	Asc and Desc
CR05	57.6540	18.3671	Visby	Passive	2022-05-11	Squared trimmed	Desc
CR06	57.6540	18.3671	Visby	Passive	2022-05-11	Squared trimmed	Asc
CR07	62.0173	14.7000	Sveg	Passive	2022-06-14	Double back flipped squared	Asc and Desc
CR08	63.4427	14.8579	Östersund	Passive	2022-09-01	Double back flipped squared	Asc and Desc
CR09	63.5781	19.5096	Umeå	Passive	2022-10-21	Double back flipped squared	Asc and Desc
CR10	64.8792	21.0485	Skellefteå	Passive	2022-10-23	Double back flipped squared	Asc and Desc

2.4. Corner reflectors and multipath effect on nearby GNSS station coordinates

Radar corner reflectors, made of metal plates, may cause multipath if installed at or very close to GNSS stations. Parker et al. (2019) installed several corner reflectors in Australia with a minimum of 30 metres distance from GNSS stations to avoid multipath error on GNSS coordinates. However, later, Fuhrmann et al. (2021), showed that even the CRs co-located directly at the GNSS stations (see Figure 9), don't show a significant multipath effect on the coordinates of the co-located GNSS stations, especially for the ones equipped with choke-ring antenna (just about 0.1 mm). Even they showed the GNSS Signal to Noise Ratio (SNR) was not also significantly affected (just about 1%). However, they argued that their test results can be different if the CR shape and size and its location relative to nearby GNSS are different.

Figure 9, GNSS stations in the Sydney area with CRs attached to the antenna pole used by Fuhrmann et al. (2021).



To investigate if our corner reflectors cause any multipath effect on nearby GNSS stations, we looked at the coordinate time series of the twin GNSS stations in two different locations, Sveg and Visby (see their locations in Figure 8). The installed corner reflector in Sveg is about 6 m away from the GNSS stations (see Figure 10) whereas, in Visby, the twin corner reflectors are about 20 metres away and have a different shape, size and orientation (see Figure 11).

The daily GNSS coordinate time series for three components in SWEREF 99 before and after installation of the corner reflector doesn't show any significant jump in the time series and the coordinate variations are in the range of expected mm-level variations for all stations.

Figure 10, Daily GNSS coordinate time series of twin stations in Sveg (SVEG 0 and SVEG 6) before and after CR installation (the stations each have different choke ring antennas and radomes, double back flipped squared CR is ~6 m away from the mast station). The time series show daily residuals relative to the official SWEREFF 99 coordinates of each station.

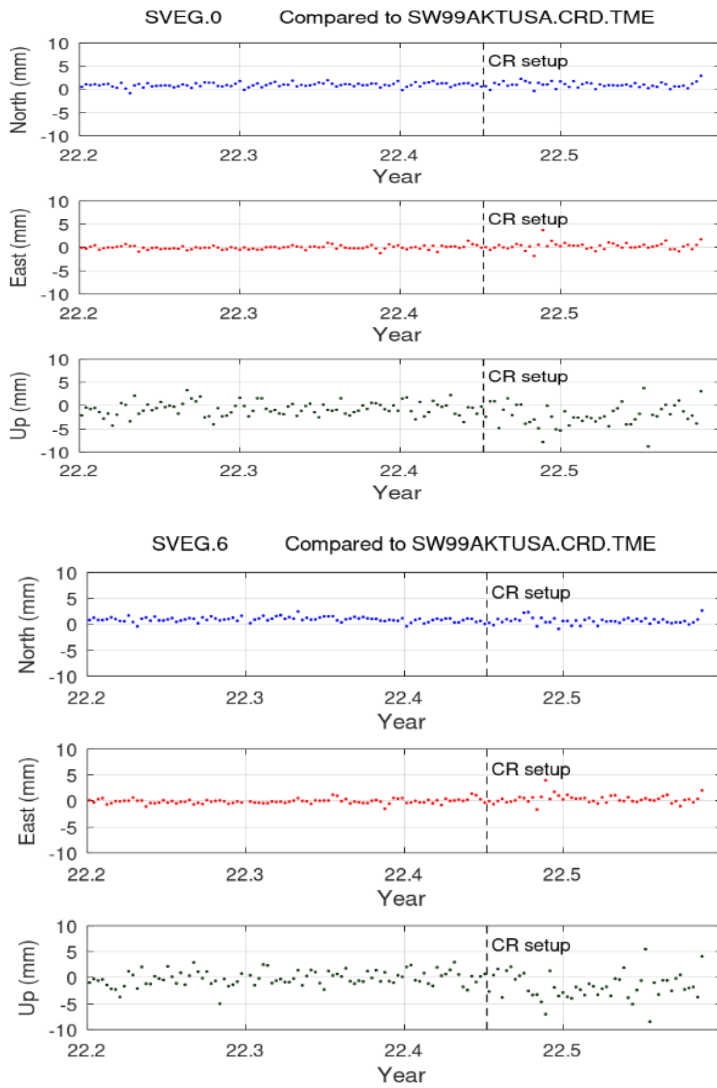
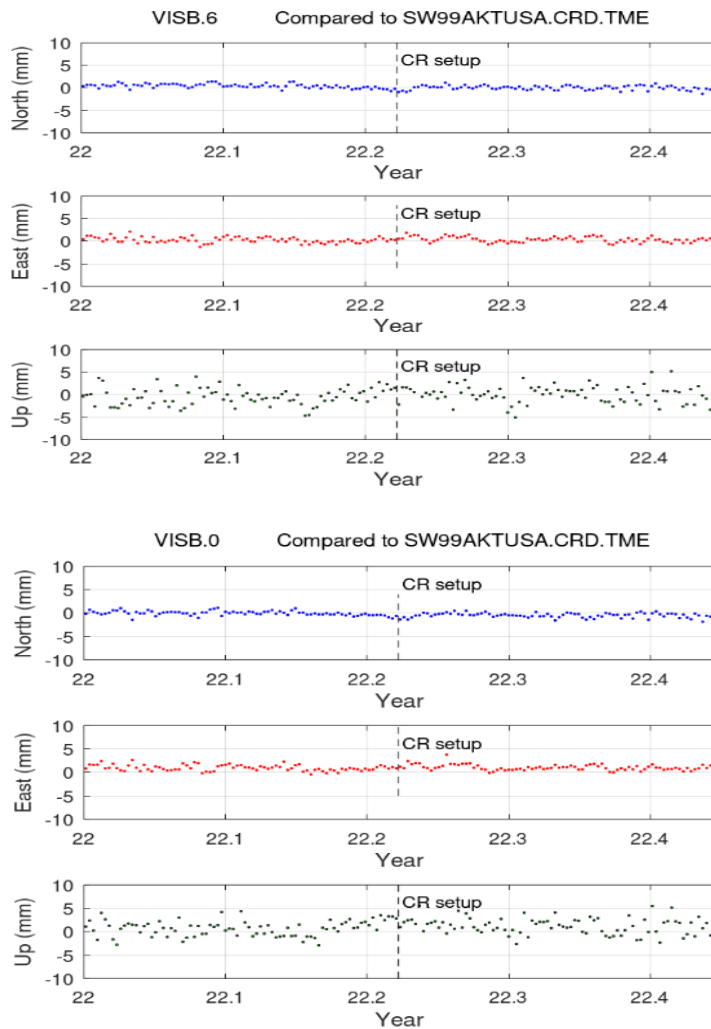


Figure 11, Daily GNSS coordinate time series of twin stations in Visby (VISB.0 and VISB.6) before and after CRs installation (the stations each have different choke ring antennas and radomes, squared trimmed CRs are ~20 m away from GNSS stations). The time series show daily residuals relative to the official SWEREF 99 coordinates of each station.



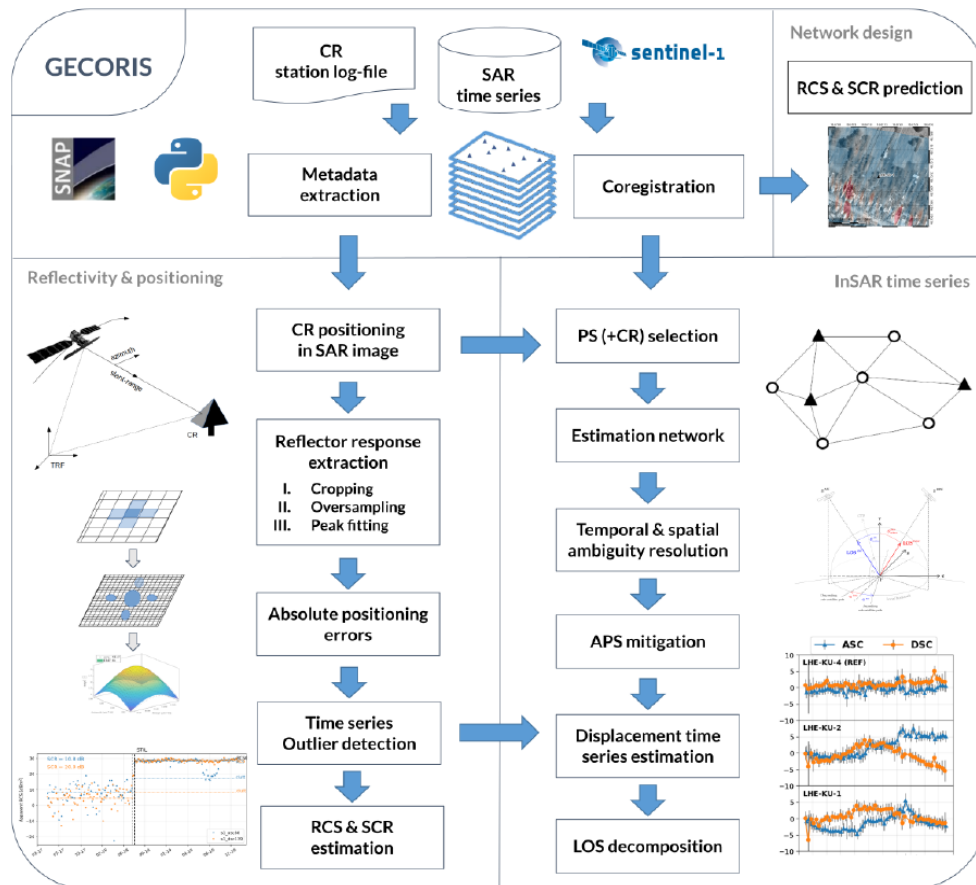
2.5. Data analysis with GECORIS

For data analysis, GECORIS toolbox (Czikhardt et al., 2021) and SANP-ESA Sentinel Application Platform v9.0.0, which are both freely available

were used. For installation of GECORIS, firstly Python 3.6 and ESA SNAP 9.0 were installed on Linux and then GECORIS (see Figure 12) was set up.

Figure 12 shows the toolbox capabilities and different steps for data processing (more details in Czikhart et al., 2021). Here in this report, we show the results for one of the CRs which was installed in Norrköping Airport.

Figure 12, GECORIS toolbox, processing steps and capabilities (Czikhart et al., 2021).



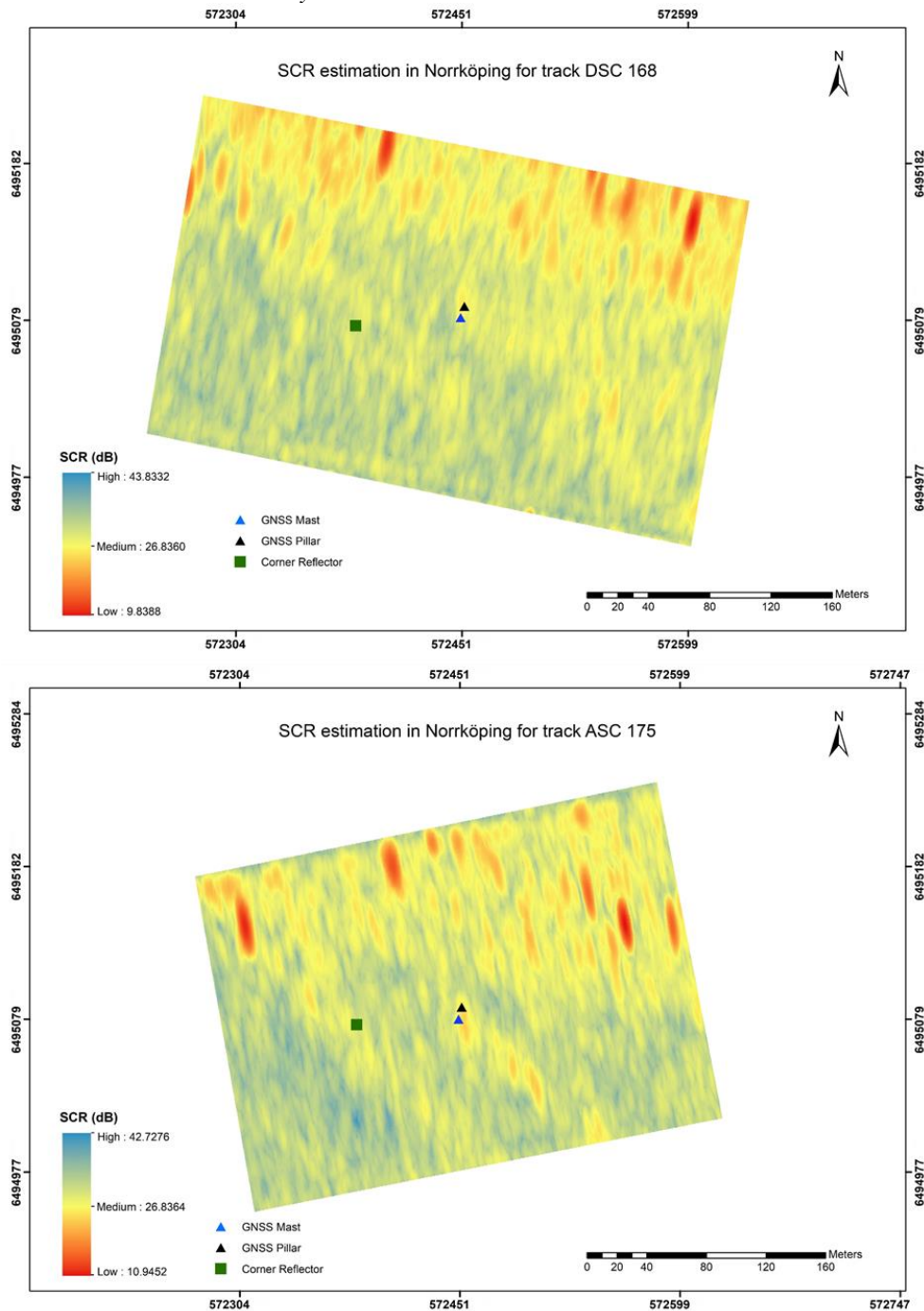
2.5.1. SCR SIMULATION

The GECORIS toolbox computes the ratio between the analytical RCS of the CR and the clutter power, estimated using SAR acquisitions over the AOI. Figure 13 represents the SCR estimation maps over Norrköping for descending track 168 and ascending track 175. The values are calculated for a period of 6 months, using SLC products of Sentinel 1A, from 2020-04-01 to 2020-10-01. As inputs for the RCS estimation 32 dBm^2 is given as the expected RCS from the CR. This value depends on the reflector type and size, and 32 dBm^2 is the approximate theoretical value for a square double backflip type CR with a 60 cm inner leg. Maps are produced for all the tracks which cover the AOI.

These kinds of maps, for example the ones shown for Norrköping in Figure 13, are used to determine which locations are most suitable to permanently install a CR. The lower the value (more reddish pixels) the more unsuitable

it becomes and the higher the value (more bluish) the more suitable it becomes to place a CR. According to Figure 5 to maintain the LOS error below 1 mm the CR must be capable of providing an average SCR over 20 dB when other incorporated errors are eliminated. Hence areas with values over 20 dB from Figure 13 are chosen as potential locations to place a CR.

Figure 13, SCR estimation for Norrköping using Sentinel-1 images between 2020-04-01–2020-10-01. Good to mention, here the CR is around 110 m away from the GNSS stations mainly because of the easier bedrock accessibility at the installation point. Maps are in SWEREF99 TM Coordinate system.



2.5.2. SCR AND RCS ESTIMATION

By utilizing GECORIS toolbox, the SCR, and the RCS for the Norrköping corner reflector (see Table 3) have been estimated using the five available tracks of the SAR dataset that covers the period between 2021/08/05 and 2022/07/19 (i.e., before and after the installation date which was on 2021-11-04). Table 4 and Figure 14 show the used tracks and the associated data periods, sub-swaths, and incident angles.

Table 4, SAR datasets for Norrköping corner reflector's SCR and RCS estimations.

Used Track	Data Period	Subswath	Incident Angle (deg)
DSC168	2021-08-05 to 2022-07-19	IW1	31.0
DSC22	2021-08-06 to 2022-07-14	IW2	38.6
DSC95	2021-08-07 to 2022-07-09	IW3	42.2
ASC102	2021-08-05 to 2022-07-19	IW2	39.6
ASC175	2021-08-06 to 2022-07-14	IW1	32.2

Figure 14, Double backflipped squared (60 cm inner leg) corner reflector in Norrköping airport, installed November 4th, 2021. The corner reflector's location (marked with a blue triangle) and footprints of ascending (ASC102 and ASC175) and descending (DSC168, DSC22 and DSC95) Sentinel-1 images are shown on the map. The Bottom right shows the incidence angle of different scenes.

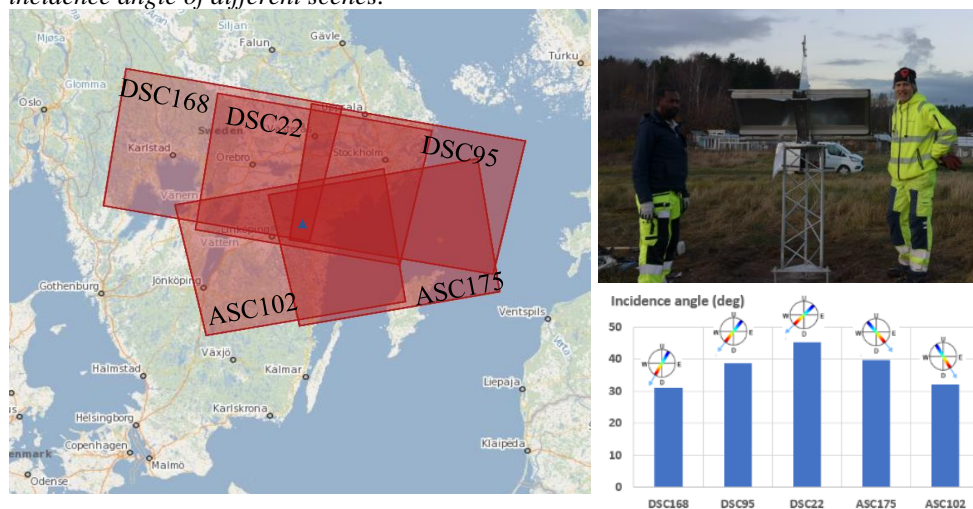


Figure 15 and Figure 16 show the results of SCR and RCS estimations for the CR at Norrköping airport. Because different tracks have different incidence angles (see Figure 14), therefore the apparent RCS will be slightly different. There is a clear jump in RCS values after the installation of the CR. A few days the RCS values are relatively lower (for example for track DSC168) which is due to the snow accumulation in the corner reflector (it is good to mention that the corner reflector in Norrköping is the only CR

which has no snow cover). The GECORIS toolbox can also estimate the SCR using the SAR data time series (more details in Czikhardt et al., 2022) and as such we estimated the SCR for this location and Figure 16 shows the results. On average, we see the SCR values are around 20 dB which is good enough for geodetic applications (mm accuracy for LOS measurements).

Figure 15, Apparent RCS estimation for different satellite tracks, sampled between 2021 and 2022. The CR in Norrköping airport was installed on 2021-11-04.

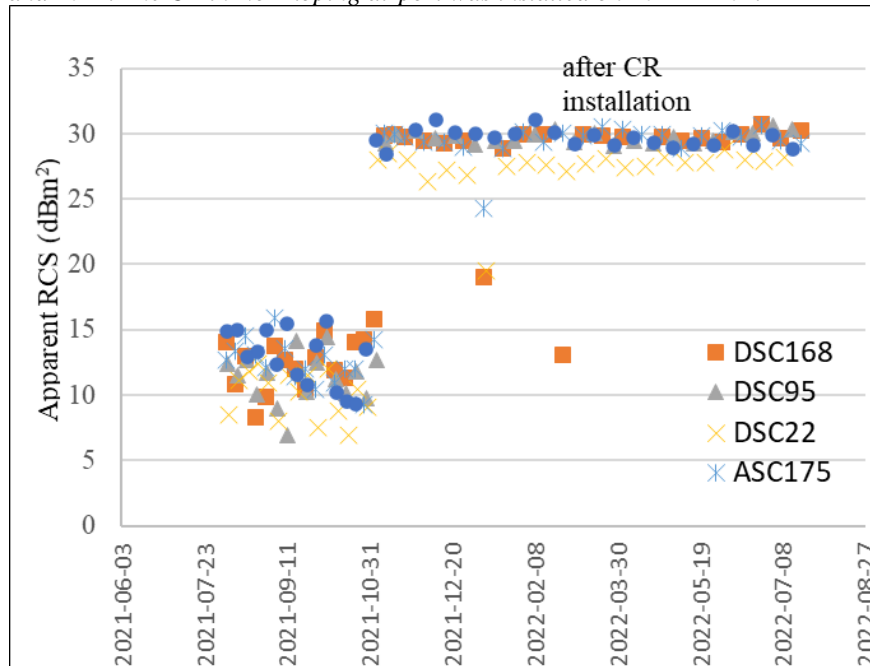
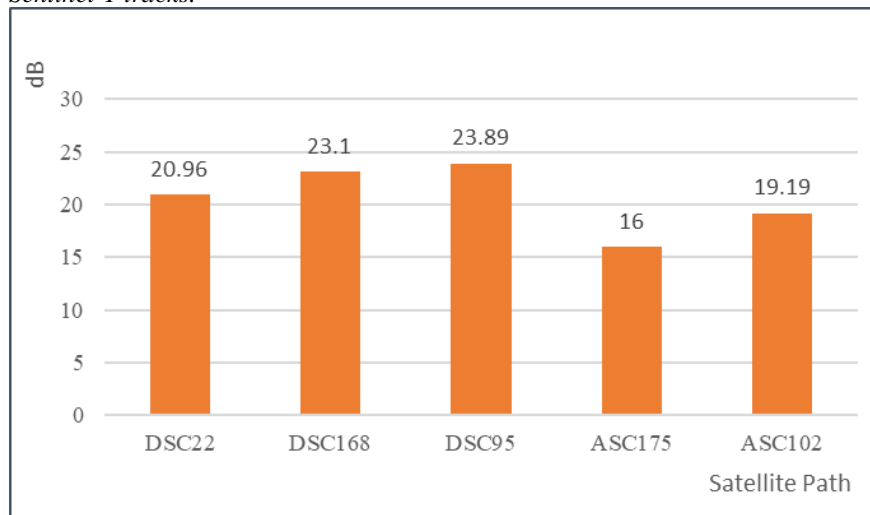


Figure 16, Estimated SCR values(dB) for corner reflector location using data for different Sentinel-1 tracks.



3. Cross-checking of InSAR-Sweden and previous studies

In this section, we use the previous PSI results of land subsidence studies for Uppsala (Fryksten and Nilfouroushan, 2019) and Gävle (Gido et al., 2020) to validate the nationwide ground motion service of Sweden (i.e.,

InSAR-Sweden). The localization of deformation in these two cities and the Line of Sight (LOS) displacement time series at some locations are compared and cross-checked.

3.1. Nationwide Ground Motion Service (GMS) of Sweden (InSAR-Sweden)

Swedish Ground Motion Service or InSAR-Sweden is based on using both ascending and descending Copernicus Sentinel-1 SAR data and the PSI technique for data processing. This service is a result of a collaboration project between several Swedish organizations and institutes and the Geological Survey of Norway (NGU), the producer of the service. The data used in InSAR-Sweden covers the period between 5 March 2015 to 11 October 2021 (see Table 5).

The PSI results of InSAR-Sweden contain different solutions based on the used geometry and tracks. For the study areas (i.e., Gävle and Uppsala Cities) track numbers 29, 102 and 175 were used for the ascending geometry, while tracks numbers 22, 95 and 168 were used for the descending one.

Table 5, Details of the Sentinel-1 A and B data used for the InSAR-Sweden PSI analysis for Uppsala and Gävle cities.

Data Info	Ascending	Descending
Number of scenes	209	191
Acquisition period	5 March 2015-11 October 2021	9 June 2015- 11 October 2021
Relative orbit	29, 102, 175	22, 95, 168
Acquisition mode	Interferometry Wide swath (IW)	Interferometry Wide swath (IW)
Product type	Single Look Complex (SLC)	Single Look Complex (SLC)
Polarization	VV	VV

3.2. Gävle City ground motion study and comparison with InSAR-Sweden

Gido et al. (2020), studied the ground surface deformation of Gävle city using the PSI technique to map the location of risk zones and their ongoing subsidence rate. Two ascending and descending Sentinel-1 datasets,

collected between 16 January 2015 and 19 May 2020 (see Table 6), were processed, and analyzed using SARPROZ software. Furthermore, a relatively long record of levelling dataset, covering the period from 1974 to 2019, was used to validate the PSI InSAR results by detecting the rate of subsidence in some common locations. The PS results were overlaid on the quaternary deposit map of the city for further investigation.

The comparison between the obtained relative vertical rate of the PS results, using the combined ascending and descending datasets, with the computed rate of four different precise levelling datasets connected to four buildings in the city centre, shows close agreement (see Table 7). The PSI results reveal that the centre of the city is relatively stable with minor displacement ranging between -2 mm/year to +2 mm/year in vertical and east-west components. Only localized deformation zones toward the northeast of the city are relatively subsiding with a higher annual rate of up to 6 mm/year in the LOS direction (see Figure 17).

Table 6, Details of the Sentinel-1 A and B data used for the Gävle city ground motion study.

Data Info	Ascending	Descending
Number of scenes	41	50
Acquisition period	16 January 2015–13 May 2020	9 June 2015–19 May 2020
Relative orbit	102	95
Central incident angle	38.77 degree	38.79 degree
Acquisition mode	Interferometry Wide swath (IW)	Interferometry Wide swath (IW)
Product type	Single Look Complex (SLC)	Single Look Complex (SLC)
Polarization	VV	VV

Figure 17, Left side shows the LOS displacement rate of the ascending PS points for Gävle city relative to the reference point (pink colour) reported in Gido et al., (2020). Area 1 shows the maximum displacement zones. The Right side shows the LOS displacement rate of the InSAR-Sweden for the same area and track.

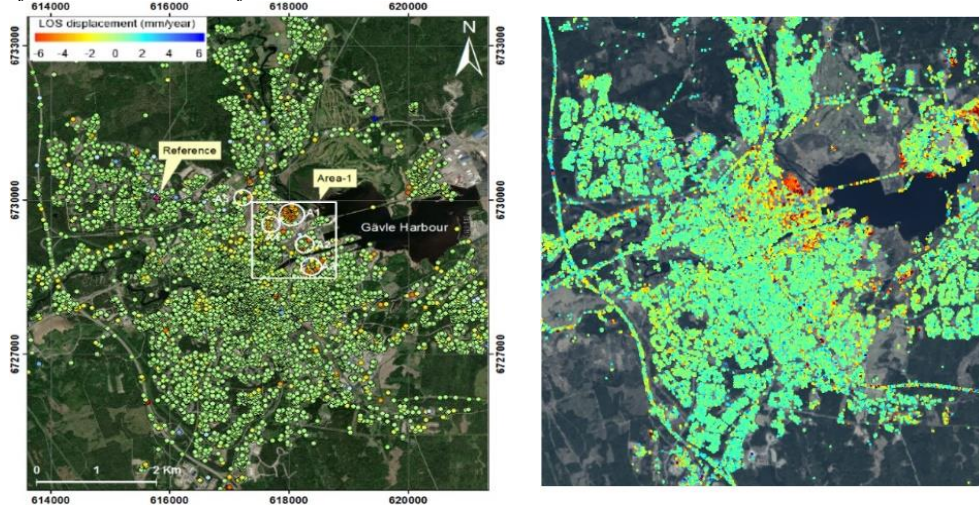


Table 7, Comparison between the relative vertical rate of the PS results in four validated buildings with the computed precise levelling rate.

Validation Site	Method	Track	Point ID	Relative Vertical Displacement Rate (mm/yr)	Relative Vertical Cumulative Displacement (mm)	Coherence
Building-1 (1985-2019)	Pre. Lev	-	Point 7	-1.2	-45.0	-
(2015-2020)	PSI	AD	498	-0.9	-5.0	0.86
Building-2 (2000-2019)	Pre. Lev	-	Point 6	-0.8	-20.0	-
(2015-2020)	PSI	AD	430	-0.7	-5.0	0.88
Building-3 (1976-1982)	Pre. Lev	-	Point 6	-2.0	-10.0	-
(2015-2020)	PSI	AD	396	-0.6	-4.1	0.95

Validation Site	Method	Track	Point ID	Relative Vertical Displacement Rate (mm/yr)	Relative Vertical Cumulative Displacement (mm)	Coherence
Building-4 (1974-1988)	Pre. Lev	-	Point 4	-1.8	-31.0	-
(2015-2020)	PSI	AD	418	0.0	-1.6	0.95

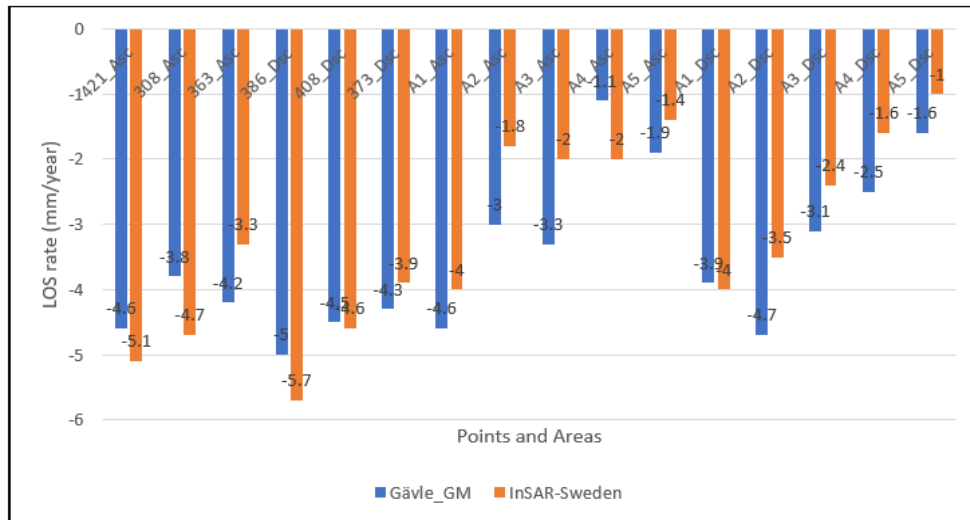
To validate the InSAR-Sweden results using Gävle's study, points, and areas comparison for both the ascending and descending geometries at common locations have been carried out, using the same track. For the study area, the InSAR-Sweden results contain six different solutions based on the used geometry and tracks, three solutions for the ascending tracks with numbers 29, 102, and 175, and three solutions for the descending tracks with numbers 22, 95, and 168, while one track for each geometry has been used (ascending 102 and descending 95) for Gävle study. Therefore, the comparison was held for the common tracks only. The LOS rate in mm/year for six points from the Gävle study (three ascending and three descending) was selected and compared with the LOS rate of the closest six points from the InSAR-Sweden study considering the same geometry and track and based on a minimum coherence of 0.6 as selection criteria. Furthermore, the estimated LOS displacement rate for five selected areas was compared in both studies considering using the same geometries and tracks as well. The PS rates for the areas (A1 to A5) have been estimated by averaging points with minimum coherence of 0.8.

Despite the differences in the period of the data coverage which is about 5.5 years for Gävle and 6.5 years for InSAR-Sweden, the number of used images, the accuracy of georeferencing of the PS points (unknown reference point for InSAR-Sweden), the density of the PS points and the other used characteristics (e.g., coherence, masks) for both studies Gävle and InSAR-Sweden respectively, similar localization of deformation and close rate agreement can be seen in both studies. Table 8 shows the LOS rates and the properties of the selected small areas (i.e., A1, A2, A3, A4 and, A5), and points for ascending and descending geometries for the two studies.

Table 8, Properties of the selected small areas (i.e., A1, A2, A3, A4 and, A5), and points for ascending and descending modes. Gävle ground motion (20150116-20200519) vs InSAR-Sweden (20150305-20212011).

Zone/ID	Track	LOS rate of Gävle ground motion (mm/yr)	Coherence of Gävle ground motion	St. Dev. Of Gävle ground motion (mm)	LOS rate of InSAR-Sweden (mm/yr)	Coherence of InSAR-Sweden	RMSE of InSAR-Sweden(mm)
421	Asc_102	-4.6	0.91	2.1	-5.1	0.82	2.2
308	Asc_102	-3.8	0.83	2.8	-4.7	0.82	2.3
363	Asc_102	-4.2	0.92	1.8	-3.3	0.93	1.6
386	Dsc_95	-5.0	0.71	4.0	-5.7	0.59	4.9
408	Dsc_95	-4.5	0.89	2.3	-4.6	0.85	2.5
373	Dsc_95	-4.3	0.82	3.2	-3.9	0.89	3.2
A1	Asc_102	- 4.6	0.89	5.6	-4.0	0.76	3.1
A2	Asc_102	- 3.0	0.90	3.6	-1.8	0.71	3.6
A3	Asc_102	- 3.3	0.90	4.0	-2.0	0.71	3.6
A4	Asc_102	-1.1	0.94	1.5	-2.0	0.70	3.7
A5	Asc_102	-1.9	0.83	2.4	-1.4	0.64	4.2
A1	Dsc_95	-3.9	0.86	4.1	-4.0	0.69	3.8
A2	Dsc_95	-4.7	0.86	5.1	-3.5	0.73	3.4
A3	Dsc_95	-3.1	0.90	3.3	-2.4	0.74	3.3
A4	Dsc_95	-2.5	0.78	3.2	-1.6	0.69	3.9
A5	Dsc_95	-1.6	0.82	2.0	-1.0	0.67	3.9

Figure 18, The LOS rate comparison for Gävle and InSAR-Sweden



3.3. Uppsala City ground motion study and comparison with InSAR-Sweden

The city of Uppsala is undergoing significant subsidence in areas that are located on clay, which acts as a weak layer and causes the sinking of the ground surface and tilting of buildings. Fryksten and Nilfouroushan (2019) carried out an InSAR-based PSI analysis using SARPROZ software to map the ongoing ground deformation and highlight risk zones, using two ascending and descending Sentinel-1 datasets covering the period from 5 March 2015 to 13 April 2019 (see Table 9). The PSI results were validated with the help of relatively long precise levelling records and the available geological data of the study area. The study revealed that the city was undergoing significant subsidence in some areas, with an annual rate of about 6 mm/year along the LOS direction (see Figure 19). Moreover, the areas of notable deformation were exclusively found on postglacial clay.

Table 9, Details of the Sentinel-1 A and B data used for Uppsala city ground motion

Data Info	Ascending	Descending
Number of scenes	42	44
Acquisition period	5 March 2015–1 April 2019	9 June 2015–13 April 2019
Relative orbit	102	95
Central incident angle	38.76 degree	33.32 degree
Acquisition mode	Interferometry Wide swath (IW)	Interferometry Wide swath (IW)
Product type	Single Look Complex (SLC)	Single Look Complex (SLC)
Polarization	VV	VV

Similar to the Gävle study, points comparisons for both ascending and descending geometries at common locations have been carried out between the Uppsala study and InSAR-Sweden using the same track. Six points were selected and compared for each geometry using 0.70 as a minimum coherence. Despite the differences in the period of the data coverage which is about four years for Uppsala and 6.5 years for the InSAR-Sweden, the number of used images, the accuracy of georeferencing of the PS points (unknown reference point for InSAR-Sweden), the density of the PS points and the other used characteristic (e.g., coherence, masks) for both studies Uppsala and InSAR-Sweden respectively, similar localization of deformation and close rate agreement can be seen in both studies (see Figure 19). Table 10 shows the LOS rates and the properties of the selected points for ascending and descending geometries for the two studies.

Table 10, Properties of the selected points, for ascending and descending modes. Uppsala ground motion (20150305–20190413) vs InSAR-Sweden (20150305–20211011).

Zone/ID	Track	LOS rate of Uppsala ground motion (mm/yr)	Coherence of Uppsala ground motion	St. Dev. of Uppsala ground motion (mm)	LOS rate of InSAR-Sweden (mm/yr)	Coherence of InSAR-Sweden	RMSE of InSAR-Sweden (mm)
5504_Asc	102	-5.1	0.94	1.5	-5.1	0.92	1.8
2326_Asc	102	-4.5	0.94	1.6	-4.0	0.85	2.5
472_Asc	102	-3.8	0.85	2.9	-3.8	0.87	2.1
652_Asc	102	-5.1	0.86	2.5	-4.7	0.81	2.7
1169_Asc	102	-5.2	0.89	2.2	-5.1	0.85	1.9
5606_Asc	102	-4.2	0.96	1.3	-3.9	0.93	1.8
1658_Dsc	95	-6.0	0.80	3.0	-6.3	0.88	2.3
3604_Dsc	95	-4.5	0.81	3.3	-4.7	0.70	3.7
6022_Dsc	95	-3.8	0.92	2.1	-3.2	0.94	1.7
5322_Dsc	95	-5.0	0.94	1.6	-5.2	0.91	1.5
5559_Dsc	95	-4.1	0.90	2.2	-3.8	0.95	1.4
1872_Dsc	95	-4.8	0.83	2.8	-4.1	0.96	1.3

Figure 19, Left side shows the LOS displacement rate for the PS points from the ascending data analysis of Uppsala study (Fryksten and Nilfouroushan, 2019). Right side shows the LOS displacement rate of the InSAR-Sweden for the same area using similar geometry and track.

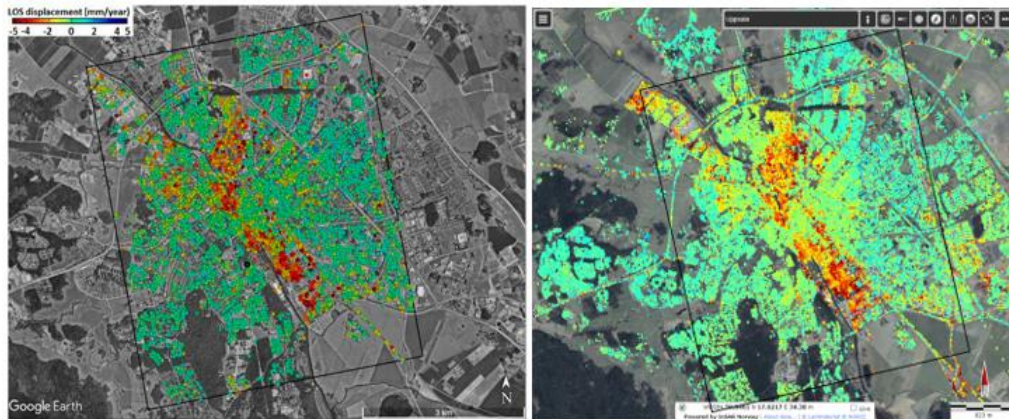
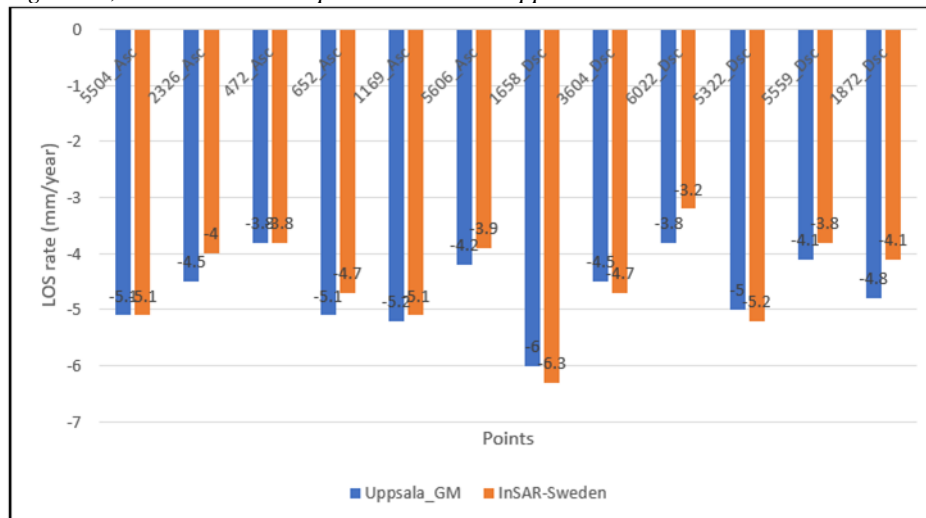


Figure 20, The LOS rate comparison between Uppsala and InSAR-Sweden.



4. Discussion and Conclusion

Our validation analysis in which we compared InSAR-Sweden and previous studies show promising results. Although the number and image acquisition date of Sentinel-1 data and the parameters used for PSI processing are not completely the same, the compared results show a good agreement between corresponding studies on the deformation localization and displacement rate in those two cities in a five-year period. For Gävle and InSAR-Sweden comparison, Figure 17 clearly illustrates the similar localization of the subsidence which concentrates more in the northeast of the city with up to 6 mm/year in the LOS direction. The points and areas comparison shows generally close agreement with minor differences with an estimated RMSE of 0.8 mm/year for the differences and -0.3 mm/year as the mean of the differences (see Figure 18). For Uppsala and the InSAR-Sweden comparison, the similar localization of the subsidence pattern which is up to 6 mm/year, and where it concentrates in the city (see Figure 19). For point comparisons, the estimated RMSE of the differences is 0.4 mm/year with -0.2 mm/year as a mean of the differences (see Figure 20). For both studies (i.e., Gävle and Uppsala) the comparisons were performed for one track for each geometry, 102 and 95 for ascending and descending respectively.

Lantmäteriet has started initiating a new geodetic infrastructure in Sweden using radar reflectors and it is in progress. So far, we have installed three transponders and ten passive CRs in different locations. Different designs and sizes have been tested for passive reflectors and in the end for simplicity, ease of manufacturing and one installation at each location capable of tracking both ascending and descending, we chose the double backflipped squared trihedral type. Initially, this kind of CR with a 60 cm inner leg was installed at Norrköping and tested and the results were promising and showed RCS values of around 30 dBm² and SCR of about 20 dBm². To make it even better and secure high accuracy in some locations with higher background noise, we finally decided to increase the size from 60 cm to 72 cm inner leg (CR dimensions: 72x72x150 cm). To

keep the CR snow and clogging-free, we equipped the CRs with radar transparent snow cover. The expected RCS values for such reflectors are around 35 dBm² which is suitable for our mm-accuracy geodetic applications. The geodetic SAR data provided by such installed CRs located close to the permanent GNSS stations provide valuable information for different geodetic and ground motion monitoring applications including the newly launched European Ground Motion Service and its calibration in future updates.

5. Presentations at national and international conferences/meetings

Lantmäteriet independently or together with co-workers of the InSAR-Sweden project has participated and/or presented the project in/at national and international conferences/meetings as follows:

- Darvishi M., Eriksson L., Edman T., Toller E., Nilfouroushan F., Dehls J., (2022), InSAR based Ground Motion Service of Sweden: evaluation and benefit analysis of a nationwide InSAR service, ESA Living Planet Symposium, Bonn, Germany.
- Darvishi, M., Eriksson, L., Edman, T., Toller, E., Nilfouroushan, F., Elgered, G. & Dehls, J., (2022), InSAR-based Ground Motion Service of Sweden: evaluation and benefit analysis of a nationwide InSAR service. [Nordic Geodetic commission General assembly](#), Copenhagen, Denmark.
- Gido N., Nilfouroushan F., Olsson P.A, Puwakpitiya Gedara C., (2022), Svensk markrörelsetjänst (SGMS) – baserad på InSAR-teknik, Geodesidagarna Upplands Väsby, Sweden.
- Nilfouroushan F., Gido N., Olsson P.A, Puwakpitiya Gedara C., (2022), Status report on the installations of geodetic SAR corner reflectors in Sweden, [Nordic Geodetic commission General assembly](#), Copenhagen, Denmark.
- Nilfouroushan F., Gido N., Olsson P.A., (2022), Establishment of a new geodetic infrastructure in Sweden using SAR Corner Reflectors: Progress report, [EUREF Symposium](#), Online.
- Nilfouroushan F., (2022), Lantmäteriets arbete med InSAR och radarreflektorer inom det Nationala geodetiska nätverket, (recorded presentation is available in YouTube <https://www.youtube.com/watch?v=hvzsS5isd0M&t=147s>).
- Nilfouroushan F., Gido N., Darvishi M., (2022), Cross-checking of the nationwide Ground Motion Service (GMS) of Sweden with the previous InSAR-based results: Case studies of Uppsala and Gävle Cities, [EGU General Assembly](#), Vienna, Austria.
- Nilfouroushan F., (2022), Komplettering av den nationella geodetiska infrastrukturen för InSAR-tillämpningar, Kartdagar, Karlstad, Sweden.

6. Plans and thoughts for the future

We have 11 more corner reflectors in the house which are planned for installation by the end of 2023. To do so, getting permission from landowners, site visits and office works (SCR simulations for the desired locations, etc.) among others, are required before the permanent installation. So far, co-location of the CRs with the GNSS stations has been in focus and will be mostly in focus for future, but we will also see the possibilities if we can have at least one or two of the CRs co-located with tide-gauges. It is good to mention that some of the installed CRs are also co-located with absolute gravity points (see Appendix). Further investigation can be done to possibly install a small network of corner reflectors with shorter distances in an area of interest to learn more about the potentials of such CR networks for example for geodetic applications. The initial plan which is under investigation, is also to buy at least five new CRs every year and to continue with the development of the CR geodetic infrastructure in Sweden. Moreover, it is good to mention, our focus has been so far on Sentinel-1 (C-band), but we may plan also for installation of the bigger size CRs for L-band future SAR satellite missions (e.g., NISAR).

We will also continue working with CR and ECR data and GECORIS toolbox (or similar toolboxes) to explore more the potentials of such devices, for example, for absolute positioning, time series and displacement analysis, etc., in future.

7. Acknowledgements

We would like to thank our Lantmäteriet colleagues, mainly Martin Lidberg and Eva Ugglå, who has been involved in the discussions and initiation of the InSAR-Sweden project. We also appreciate the help of our colleagues, too many to list, for their support and for sharing their experiences. Mehdi Darvishi, a postdoc at Chalmers University is also appreciated for sharing his experience and knowledge on corner reflectors. GECORIS toolbox and SNAP software were used for data processing.

8. References

- Alfredsson A., Alm L., Dahlström F., Jivall L., Kempe C., Wiklund P., 2019, Förvaltning av de nationella geodetiska referensnäten, Lantmäterirapport 2019:1. <https://www.lantmateriet.se/globalassets/geodata/gps-och-geodetisk-matning/rapporter/lantmaterirapport-2019-1.pdf>
- Beladam O., Balz T., Mohamadi B., Abdalhak M., 2019, Using PS-InSAR with Sentinel-1 Images for Deformation Monitoring in Northeast Algeria. *Geosciences*, 9, 315. <https://doi.org/10.3390/geosciences9070315>
- Crosetto M., Monserrat O., Cuevas-González M., Devanthery N., Crippa B., 2016, Persistent Scatterer Interferometry: a review. *ISPRS J Photogramm Remote Sensing*, 115, 78–89.

- Czikhardt R., van der Marel H., Papco J., 2021, GECORIS: An Open-Source Toolbox for Analyzing Time Series of Corner Reflectors in InSAR Geodesy, *Remote Sensing*, 13, 926. <https://doi.org/10.3390/rs13050926>
- Czikhardt R., 2021, InSAR Measurements in a Geodetic Reference Frame, Doctoral dissertation. <https://www.svf.stuba.sk/buxus/docs/autoreferaty/2020-21/czikhardt.pdf>
- Czikhardt R., van der Marel H., van Leijen F.J., Hanssen R.F., 2022, Estimating Signal-to-Clutter Ratio of InSAR Corner Reflectors, from SAR Time Series, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 19.
- Darvishi M., Schlögel R., Kofler C., Cuzzo G., Rutzinger M., Zieher T., Toschi I., Remondino F., Mejia-Aguilar A., Thiebes B., Bruzzone L., 2018, Sentinel-1 and Ground-Based Sensors for Continuous Monitoring of the Corvara Landslide (South Tyrol, Italy). *Remote Sensing*, 10, 1781. <https://doi.org/10.3390/rs10111781>
- Fryksten J., Nilfouroushan F., 2019 Analysis of Clay-Induced Land Subsidence in Uppsala City Using Sentinel-1 SAR Data and Precise Leveling. *Remote Sensing*, 2019, 11, 2764. <https://doi.org/10.3390/rs11232764>
- Fuhrmann T., Garthwaite M.C., McClusky S., 2021, Investigating GNSS multipath effects induced by co-located Radar Corner Reflectors. *Journal of Applied Geodesy*, vol.15(3), pp. 207–224. DOI: [10.1515/jag-2020-0040](https://doi.org/10.1515/jag-2020-0040)
- Garthwaite M.C., 2017, On the Design of Radar Corner Reflectors for Deformation Monitoring in Multi-Frequency InSAR. *Remote Sensing*, 9, 648. <https://doi.org/10.3390/rs9070648>
- Gido N.A.A., Bagherbandi M., Nilfouroushan F., 2020, Localized Subsidence Zones in Gävle City Detected by Sentinel-1 PSI and Leveling Data. *Remote Sensing*, 12, 2629. <https://doi.org/10.3390/rs12162629>
- García A.J., Bakon M., Martínez R., Marchamalo M., 2018, Evolution of urban monitoring with radar interferometry in Madrid City: Performance of ERS-1/ERS-2, ENVISAT, COSMO-SkyMed, and Sentinel-1 products. *Int. J. Remote Sensing*, 2018, 39, 2969–2990.
- Gruber T., Ågren J., Angermann D., Ellmann A., Engfeldt A., Gisinger C., Jaworski L., Marila S., Nastula J., Nilfouroushan F., Oikonomidou X., Poutanen M., Saari T., Schlaak M., Świątek A., Sander V., Zdunek R., 2020, Geodetic SAR for Height System Unification and Sea Level Research – Observation Concept and Preliminary Results in the Baltic Sea, *Remote Sensing*, 12(22), 3747. <https://doi.org/10.3390/rs12223747>
- Gruber T., Angermann D., Schlaak M., Oikonomidou X., Gisinger C., Brcic R., Poutanen M., Marila S., Koivula H., Nordman M., Saari T., Nastula J., Zdunek R., Ellmann A., Sander V., Jonas Å., Nilfouroushan F., 2021, Geodetic SAR for Baltic Height System Unification and Baltic Sea Level Research, project final report. <https://eo4society.esa.int/projects/sar-hsu/>

- Gruber T., Ågren J., Angermann D., Ellmann A., Engfeldt A., Gisinger C., Jaworski L., Marila S., Nastula J., Nilfouroushan F., Oikonomidou X., Poutanen M., Saari T., Schlaak M., Światek A., Sander V., Zdunek R., 2022, Geodetic SAR for Height System Unification and Sea Level Research-Results in the Baltic Sea Test Network, *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs14143250>
- Kamphuis J., 2019, Co-Location of Geodetic Reference Points. Master's Thesis, TU Delft Civil Engineering and Geoscience, Delft, The Netherlands.
- Marinkovic P., Ketelaar V., van Leijen F., Hanssen R., 2007, InSAR Quality Control: Analysis of Five Years of Corner Reflector Time Series. In Proceedings of the Fifth International Workshop on ERS/Envisat SAR Interferometry, 'FRINGE07', Frascati, Italy.
- Lacoste H., Ouwehand L., Eds., 2008, ESA Communication Production Office: Noordwijk, The Netherlands, pp. 1-8.
- Parker A.L., Featherstone W.E., Penna N.T., Filmer M.S., Garthwaite M.C., 2017, Practical Considerations before Installing Ground-Based Geodetic Infrastructure for Integrated InSAR and cGNSS Monitoring of Vertical Land Motion. *Sensors*, 17, 1753. <https://doi.org/10.3390/s17081753>

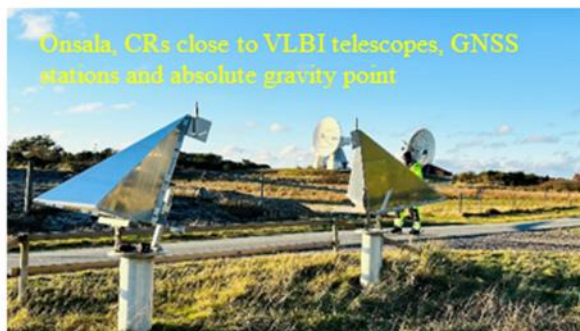
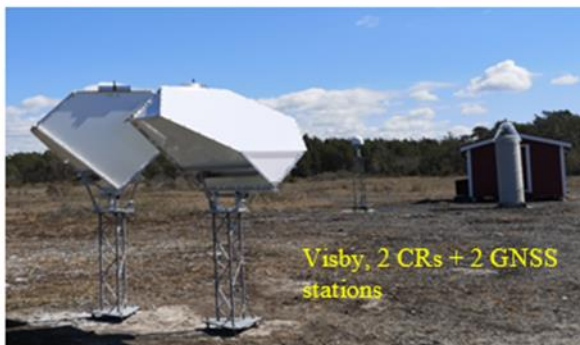
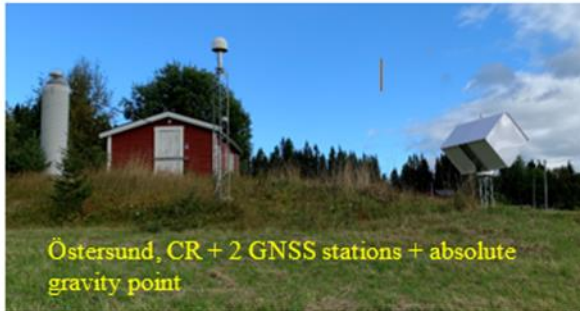
9. Appendix

Here in this Appendix, some sample photos taken during fieldwork for the installation of corner reflectors at different locations are demonstrated (see Figure 8 for their locations and Table 3 for more details).

Figure 21, Drilling the bedrock to install the metal mast and corner reflector on top of that at Sveg near two permanent GNSS stations (SVEG.0 and SVEG.6). We had bee protection hats at this location because of nearby (~10 m) beehives.



Figure 22, Different types of CRs installed at different locations (see Table 3 and Figure 8). Note the different shapes of the CRs and snow cover. The ones at Mårtsbo and Onsala are trihedral triangular types with inner leg of 1 metre and snow cover. The ones at Visby, are trihedral squared shape (trimmed version) with 1 m inner leg size, and snow cover. The ones at Östersund, Umeå and Skellefteå is double-backflipped squared shape with 72 cm inner leg and snow cover.



Reports in Geodesy and Geographical Information Systems from Lantmäteriet (the Swedish mapping, cadastral and land registration authority)

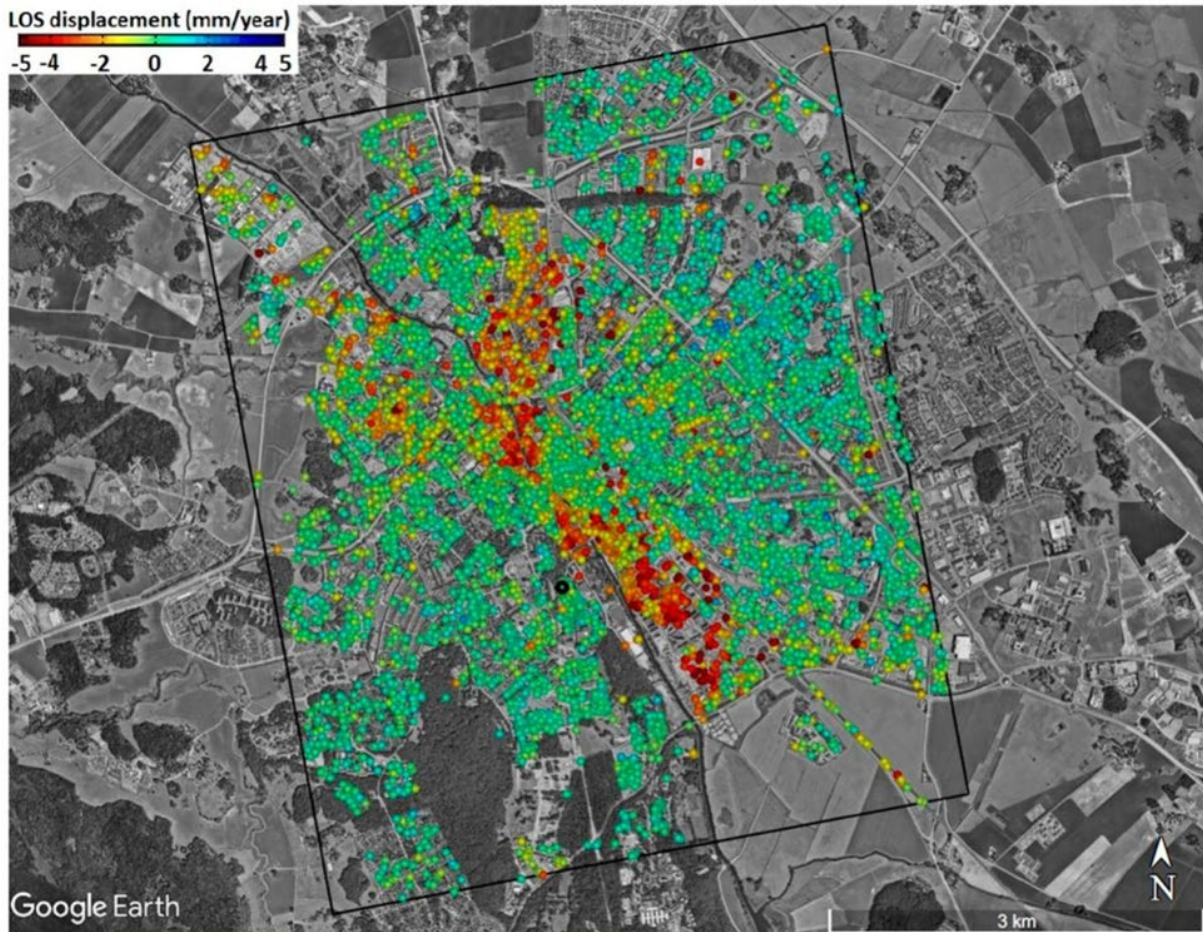
- 2015:2 Norin Dan, Johansson Jan M, Mårtensson Stig-Göran, Eshagh Mehdi: Geodetic activities in Sweden 2010–2014.
- 2015:4 Andersson Bengt, Alfredsson Anders, Nordqvist Anders, Kilström Ronald: RIX 95-projektet – slutrapport.
- 2016:1 Engfeldt Andreas: RG 2000 – status March 2016.
- 2016:2 Engfeldt Andreas: Preparations and plans for the new national gravity system, RG 2000.
- 2016:4 Kempe Christina (ed.): Proceedings of the NKG General Assembly. Göteborg, Sweden, 1–4 September 2014.
- 2016:5 Berggren Anna: Inledande försök till mätning med Europas navigeringssystem Galileo.
- 2018:3 Svensson Vilhelm & Tobler Fredrik: Utvärdering av olika metoder för fri stationsetablering med nätverks-RTK.
- 2018:4 Norin Dan, Jensen Anna B O, Bagherbandi Mohammad, Eshagh Mehdi: Geodetic activities in Sweden 2014–2018.
- 2018:5 Jivall Lotti & Nilfouroushan Faramarz: Mast-based versus pillar-based networks for coordinate estimation of SWEREF points – using the Bernese and GAMIT-GLOBK software packages.
- 2019:1 Alfredsson Anders, Alm Linda, Dahlström Fredrik, Jivall Lotti, Kempe Christina, Wiklund Peter: Förvaltning av de nationella geodetiska referensnäten.
- 2019:3 Engfeldt Andreas: RG 2000 – a comprehensive overview on the new gravity reference frame of Sweden.
- 2021:1 Abraha Kibrom Ebuy, Frisk Anders, Westberg Mats, Wiklund Peter: SWEPOS data quality monitoring – GNSS signal disturbances detection system.
- 2022:1 Jivall Lotti, Nilfouroushan, Al Munaizel Naim: Analysis of 20 years of GPS data from SWEREF consolidation points – using BERNESE and GAMIT-GLOBK software.

Geodetic reports from Lantmäteriet (the Swedish mapping, cadastral and land registration authority)

- 2022:3 Steffen Holger, Bagherbandi Mohammad, Eshagh Mehdi, Horemuz Milan, Johansson Jan: Geodetic activities in Sweden 2018–2022.

InSAR Sverige

Med hjälp av satelliter kan markrörelser på millimeternivå upptäckas på ett tidigt stadium. Det kan utgöra viktigt underlag till bland annat byggprojekt och nödvändiga åtgärder kopplat till infrastruktur som kan effektivisera arbetet, reducera kostnader och bidra till klimatanpassningar.



InSAR

Bilden visar Uppsala. Data som visas är LOS förskjutning (mm/år). Färgen på punkterna representerar förskjutningshastigheten i förhållande till referenspunkten på en byggnad. Negativa värden (mot rött) är en rörelse bort från sensorn och positiva värden (mot blått) är en rörelse mot sensorn på satelliten. Läs mer i Fryksten J., Nilfouroushan F., 2019.

Publicerad

2021-09-07

Dela artikel:

Det europeiska rymdorganet (ESA) driver Copernicusprogramet som övervakar jorden med hjälp av radarbilder för att upptäcka exempelvis översvämningar och landrörelser i tid. Två satelliter, Sentinel 1A och 1B, sänder radarbilder till ESA för analys. Med ombord finns också instrumentet C-Sar som mäter sättningar i marken med hjälp av så kallad InSAR-teknik. Med InSAR-tekniken mäts förändringar på millimeternivå vilket har flera tillämpningar. Man kan

exempelvis följa förändringar i befintlig infrastruktur eller marksättningar vid planerade infrastrukturprojekt.

Norsk geologisk undersökning har sedan 2009 arbetat med detektion av markrörelser baserade på data från radarsatelliter. Sedan 2019 har rikstäckande data med information om markrörelser på millimeternivå i mer än 3,5 miljarder punkter tillgängliggjorts som öppen data i Norge. Det har lett till stor användning av informationen utanför det ursprungliga användningsområdet som fokuserade på skredrisk och förebyggande arbete.

Nu används informationen också för bland annat stadsplanering och för att följa upp problematik kring sättningskador med mera.

I Sverige används information om markrörelser från rymddata för uppföljning av markrörelser i samband med olika infrastrukturprojekt, bland annat för att identifiera sättningar i arbetet med Västlänken i Göteborg och för skredförebyggande åtgärder längs Göta älv. Det finns en stor potential för att information om markrörelser kan få en mycket bredare användning och bli ett viktigt underlag i arbetet med klimatanpassning i både kust och inland, att det kan användas för att minska riskerna och fokusera underhållet av infrastruktur, förbättra statsbyggnadsprocessen genom att tidigt identifiera områden med pågående sättningsproblematik och utgöra ett viktigt underlag i arbetet med klimatanpassning av stadsbebyggelse och infrastruktur.

Nu lanserar även Sverige en rikstäckande InSAR-tjänst i samarbete med Norge. Detta är ett projekt som ska utvärdera både data och nyttjande för att senare ge en rekommendation för om tjänsten bör införas permanent eller ej. Projektet kommer göra en vetenskaplig analys av data tillsammans med expertis vid Chalmers Tekniska Högskola samt en bred nyttoanalys tillsammans med myndigheterna i [Myndighetssamverkan Copernicus](#), där det även kommer att genomföras informationsspridning till bland annat kommuner och näringsliv för att bredare kunna nå ut till intressenterna och kunna analysera deras behov och intresse för tjänsten.

[Klicka här för att komma till tjänsten](#)

Information om API

Data nås också med API. Informationen finns på <https://insar.ngu.no/api-docs/>

Ersätter man 'ngu.no' med 'rymdstyrelsen.se' i beskrivningen i enlighet med följande anrop <https://insar.rymdstyrelsen.se/insar-api/list-datasets> kommer man därigenom åt data.

Trafikverket om bättre projektering med InSAR-teknik

Genom att kartlägga marken i närområdet redan innan byggen startar kan man på ett tidigt stadium upptäcka markrörelser.

– Att i förväg ha kännedom om markrörelserna möjliggör att på ett effektivt sätt gallra och sätta in mer precisa mätningar i områden med extra behov, så att rätt åtgärder sedan kan vidtas, berättar Erik Toller, projektansvarig, Trafikverket.

Trafikverket har använt tekniken för att följa upp sättningsmönster i särskilt utsatta områden som Västlänken i Göteborg, för skredförebyggande åtgärder i längs Göta älv, vid bandel 626 (Lindome – Kållered) och på Malmbanan. Med hjälp av tekniken kan man också identifiera och proaktivt vidta åtgärder för sårbara fastigheter som kan skadas till följd av byggnationen.

– Studierna visar att det finns ett behov och en tydlig nytta med en svensk nationell tjänst. Tekniken bidrar till en effektiv övervakning och planering av stora infrastrukturprojekt och stadsplanering i stort, menar Erik.

Bättre tillståndsbedömning för väg- och järnväg

För tillståndövervakningen av infrastruktur finns det stor potential med användandet av InSAR-tekniken. Stora markrörelser kan upptäckas i tid och åtgärder kan vidtas. Även analyser kopplade till ett förändrat klimat utifrån bedömningar på grundvattennivåer och sättningar kan genomföras.

– InSAR möjliggör förmågan att vidta rätt åtgärder och att få en klar bild av grundorsakerna till markrörelserna. Genom de mätintervall och den täckning som tekniken ger är det möjligt att få en bättre tillståndsbedömning för hela det svenska väg och järnvägsnätet, både i storstäder och landsbygd, avslutar Erik.

Rymdstyrelsen anser att projektet är viktigt eftersom det påvisar den direkta samhällsnyttan med rymddata och hur informationen från rymdsystemen kan utgöra ett viktigt beslutsunderlag och göra stor skillnad inom flera samhällsviktiga funktioner.