

## 11. GEOFYSSISKE UNDERSØKELSER AV JERNVINNEANLEGG I DYRKET MARK – OBSERVASJONER, ANALYSER OG ERFARINGER FRA ÅNESTAD

*Arne Anderson Stamnes<sup>1</sup> og Christian Løchsen Rødsrud<sup>2</sup>*

### 11.1 INNLEDNING

De to jernproduksjonslokalitetene fra merovingertid på Ånestad lå i dyrket mark og ble påvist gjennom en tradisjonell registrering med bruk av søkesjakter. Ved utgravning ble området flateavdekket, og det ble påvist 30 ovner som er beskrevet nærmere i lokalitetspresentasjonen i kapittel 10 i denne boken. Matjordslaget på lokaliteten varierte mellom 20–25 cm, og hele feltet var preget av leirete/siltig undergrunn med mye stein av ulike størrelser.

Jernproduksjonen på østnorsk område i merovingertid var svært lite kjent før undersøkelsene på Ånestad. Plasseringen av ovnene i et gårdsnært miljø på grensen mellom jordbruksområdene på Hedmarken og taiga-områdene lenger øst var også et element som bidro til å fremheve viktigheten av Ånestad-undersøkelsene. På denne bakgrunn ble ovnsanleggene på Ånestad gitt høy prioritet i prosjektplanen, og magnetometermålinger og målinger av magnetisk susceptibilitet ble innarbeidet som en del av prosjektet før selve utgravningene startet (Lønaas mfl. 2014). Undersøkelsene ble foretatt av NTNU Vitenskapsmuseet. Formålet med denne geofysiske undersøkelsen var å samle inn, prosessere, tolke og evaluere de innsamlede, geofysiske dataene for å skaffe et datagrunnlag til bruk for den videre arkeologiske undersøkelsen av de arkeologiske lokalitetene innenfor undersøkelsesområdet (Stamnes 2015a). Det ble spesielt fokusert på å kartlegge ovnsanlegg som ikke ble funnet gjennom fylkeskommunens sjaktgraving, men også å påvise flere ledd av produksjonsprosessen: eksempelvis malmlagre, kullagre, røsteplasser, slagghauger, primærsmiingsområder og andre bosetningsspor.

Målet i dette kapitlet er å presentere resultatene av de geofysiske målingene, sammenligne resultatene fra

utgravningene med de geofysiske målingene og kritisk vurdere tolkningene som ble utført på disse datasettene. Videre ønsker vi å bruke utgravningsdataene til å karakterisere den typiske geofysiske responsen til ulike strukturer relatert til jernproduksjon, og ikke minst diskutere hvordan strukturene som viste seg å være naturdannelser/ geologiske anomalier kan benyttes til å raffinere fremtidige av tolkninger gjort på gradiometer-datasett i liknende omgivelser. Til sist ønsker vi å diskutere hvordan de geofysiske dataene og tolkningene av disse ble anvendt i prosjektet som helhet, og hvordan det påvirket eventuelle valg foretatt i forbindelse med utgravningene. Dette vil vise noen muligheter og begrensninger ved bruken av denne typen geofysiske målinger i prosjekter med liknende faglige problemstillinger.

### 11.2 METODE

Ved undersøkelsene på Ånestad ble det brukt to ulike geofysiske målemetoder, som begge måler variasjon av magnetisme. Dette var målinger av magnetisk susceptibilitet og målinger med magnetometer, som begge er inngrepsfrie kartleggingsmetoder.

Magnetisk susceptibilitet er en måte å måle hvor magnetisk jorda er. Ved å utsette et volum av jorda for et eksternt magnetfelt, og måle hvor magnetisk jorda blir under påvirkning av dette magnetfeltet, kan man lage kart over variasjonen av denne magnetiseringen. Typisk vil aktiviteter som brenning av bål eller kokegrop, deponering av avfall, metallhåndverk samt prosesser som involverer oppvarming og nedkjøling, endre svakt magnetiske jernmineraler til mer magnetiske jernmineraler. Når en boplass eller et verkstedområde så blir pløyd regelmessig,

1 Institutt for arkeologi og kulturhistorie, NTNU Vitenskapsmuseet.

2 Kulturhistorisk museum, Universitet i Oslo.

kan man bruke denne økte magnetiseringen i jorda til å lokalisere og avgrense sentrale boplassområder, og karakterisere områdene ytterligere etter styrken på utslagene. Metallhåndverk og jernutvinning gir spesielt høye utslag, da f.eks. slagg, myrsmalm og jern er sterkt magnetiske. Soner eller områder hvor den magnetiske susceptibiliteten er forhøyet, kan derfor representere menneskelig aktivitet, og jernproduksjon er kjent for å oppnå spesielt forhøyet verdier (Crew & Crew 1995; Dearing 1999; Dalan 2008). Metodens anvendelighet er særlig knyttet til å påvise og avgrense aktivitetsspor, og spesielt industriell aktivitet (Crew & Crew 1995; Stamnes 2015b; 2016:95, 100, 142). Likevel kan det være vanskelig å avgjøre hva som konkret har skapt observerte variasjoner, og ikke minst når dette eventuelt har foregått. All aktivitet på plassen til enhver tid, både menneskelig og naturlig, kan i teorien ha påvirket magnetiseringen av jorda ved enten å tilføre eller fjerne mineraler i undergrunnen. Dessuten vil ethvert område ha ulik mengde magnetiske jernmineraler i bakken. Det betyr at samme type aktivitet på to ulike steder ikke nødvendigvis vil ha samme effekt på magnetiseringen, fordi mengden av de tilstedeværende jernmineralene som er omdannet fra mindre til mer magnetiske typer, er ukjent. Det kan derfor i utgangspunktet være vanskelig å fastslå hvorvidt en observasjon eller måling er høy eller lav uten å foreta ytterligere analyser, da dette avhenger av de ovennevnte faktorene (Crowther & Barker 1995; Dalan 2008; Linderholm 2010).

Et magnetometer er en sensor som måler små variasjoner i jordas magnetisme. To magnetometre montert over hverandre kalles et gradiometer, og er en konfigurasjon som er velegnet til å studere variasjoner i magnetismen i jordas overflate. Både naturlige fenomener og arkeologiske aktiviteter kan påvises på denne måten. Arkeologiske strukturer med ulikt magnetisk innhold vil opptre som små magneter med ulik styrke, og ved å måle systematisk over et område vil man kunne produsere geofysiske kart over alt som opptrer som magneter i undergrunnen. Tilsvarende kan magnetiske steiner også opptre som slike magneter, og naturlige prosesser i undergrunnen kan gi magnetiske utslag på slike geofysiske kart. Både naturdannede og menneskeskapt strukturer med høy magnetisk susceptibilitet vil således fremstå tydelig i kontrast med sine omgivelser. Dette betyr igjen at ulik tilstedeværelse av magnetiske mineraler i bakken kan gi ulik kontrast til arkeologiske strukturer avhengig av mengden av jernmineraler som er til stede, og hvor omdannet disse har blitt (Schmidt 2007; Dalan 2008; Aspinall mfl. 2009; Heske & Posselt 2009).

Menneskeskapt strukturer og naturskapt formasjoner skiller enklest ved å studere karakteren til de magnetiske utslagene. Gjennom målingene påvises anomalier, som igjen kan karakteriseres/defineres på bakgrunn av signalstyrke, geofysisk kontrast, dimensjoner, form, plassering og eventuelt om de er påvist med flere ulike sensorer (Hargrave 2006). Målingene som foretas i nanotesla (nT) er delvis avhengig av magnetiske avvik grunnet jordas magnetfelt. Målingene kan ha positive og negative måleverdier som avhenger av mengden av jernmineraler og hvorvidt materialet har blitt utsatt for varme eller liknende prosesser. Mens jordas magnetfelt har en styrke på omkring 40 000 nT ved våre breddegrader, kan moderne magnetometre måle variasjoner helt nede i 0.01 nT. Formen, styrken på og utseende av målingene kan anvendes i tolkningsarbeidet – både ved å analysere verdiene i datasettet på et plankart eller ved detaljerte analyser av de magnetiske målingene som grafer. Ved tolkningsarbeidet ble alle anomalier med en styrke på  $\pm 1$  standardavvik rundt gjennomsnittet fremhevet i et digitalt kartprogram, og deretter manuelt tolket og kategorisert etter forhåndsdefinerte tolkningsklasser. Magnetometer har vært brukt med hell på jernvinne-lokaliteter i utmark i Gråfjellområdet og i Trøndelag (Risbøl & Smekalova 2001; Rundberget 2007; Stamnes 2015b; Stamnes mfl. 2019). Metoden er også benyttet for å påvise jernvinneovner i dyrket mark i Danmark, og den geofysiske responsen til sjaktovner i dyrket mark viser at bevarte sjaktovner ofte gir en markant og kraftig positiv respons omgitt av en ytre ring (omriss) av negative data (Smekalova & Voss 2001, 2002; Smekalova mfl. 2008). Bruk av magnetometer er anbefalt som en mulig feltmetode i det faglige programmet for jernvinneundersøkelser ved Kulturhistorisk museum (Larsen 2009:206).

### 11.3 UNDERSØKELSENE OG RESULTATER

Her presenteres statistikk over presisjonen til de arkeologiske tolkningene, samt graden av sammenfall mellom arkeologiske strukturer innmålt i felt og de geofysiske målingene. Dette vil gi noen inntrykk av metodens anvendelighet ved påvisning og avgrensning av strukturer relatert til jernvinne i dyrket mark, og presentere noen erfaringer fra dette arbeidet som kan være et konstruktivt bidrag til liknende undersøkelser i fremtiden. Blant annet vil vi sammenligne den geofysiske karakteristikken til løse steinblokker og jernvinneovner, og vise hvordan data generert på Ånestad kan bidra til bedre tolkninger ved fremtidige undersøkelser med liknende problemstillinger.

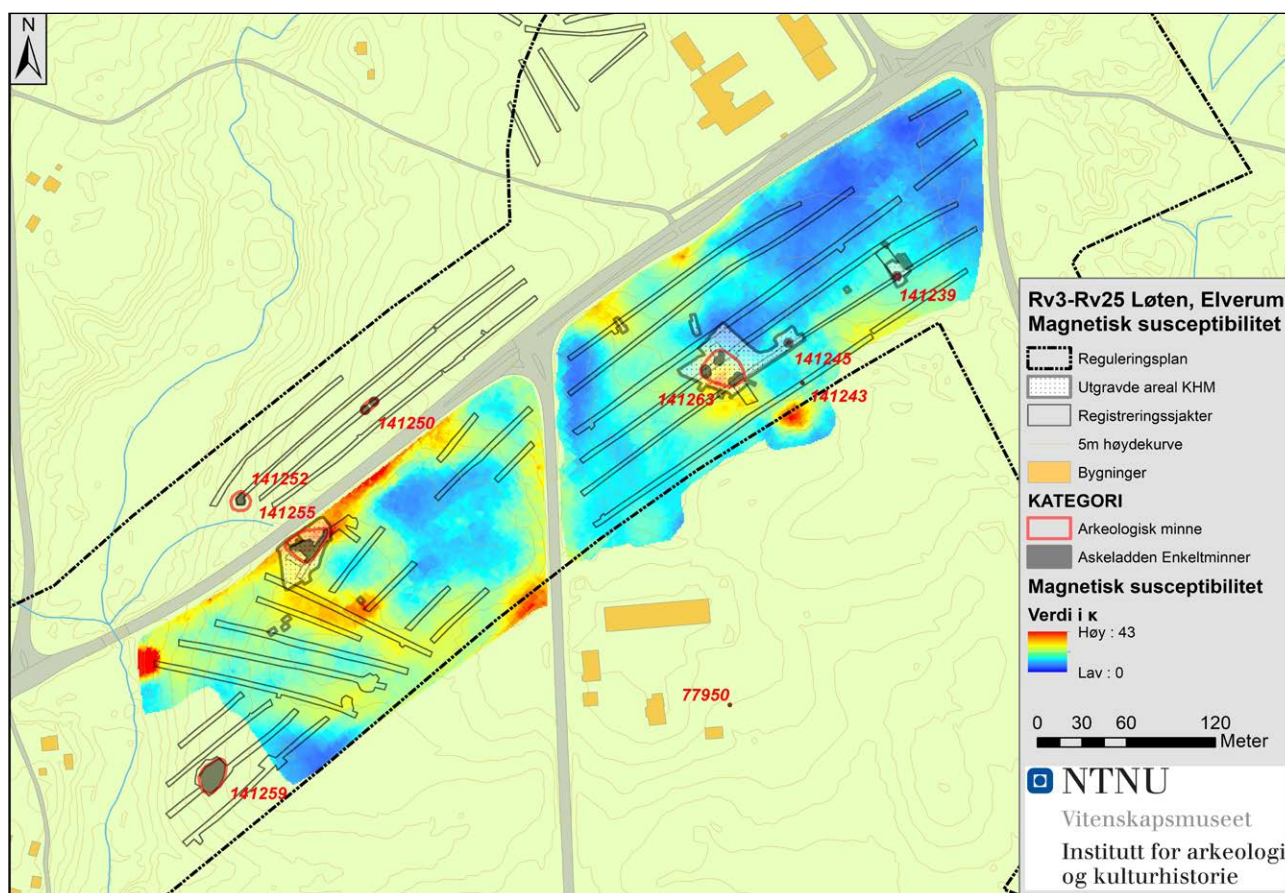
Innenfor det området som ble utgravd av Kulturhistorisk museum, hadde Hedmark fylkeskommune påvist åtte ovner og seks aktivitetsområder (Hansen 2011). Seks av disse ovnene lå innenfor lokaliteten Ånestad 1, og ytterligere to lå innenfor lokaliteten Ånestad 2 (se kapittel 10 i denne boken). I alt ble det gjort målinger av magnetisk susceptibilitet over et areal på 85 980 m<sup>2</sup>, og gradiometerdata over et areal på 39 111 m<sup>2</sup> i forkant av utgravningen. 242 anomalier ble observert i gradiometer-dataene og tolket med tolkningskategorien kalt «mulig arkeologi», definert som «anomali hvor styrke, form, geofysisk signatur eller plassering kan tolkes som arkeologisk, men som kan være ufullstendig eller at det eksisterer en form for usikkerhet omkring tolkningen».

34 anomalier hadde en geofysisk signatur som var sammenlignbar med kjente jernvinneovner registrert i området (Stamnes 2015a). Den geofysiske responsen i området hadde et godt sammenfall med kjente arkeologiske strukturer og lokalitetsgrenser, og en rekke nye observasjoner ble foretatt som kunne bidra til en bedre og mer målrettet arkeologisk undersøkelse

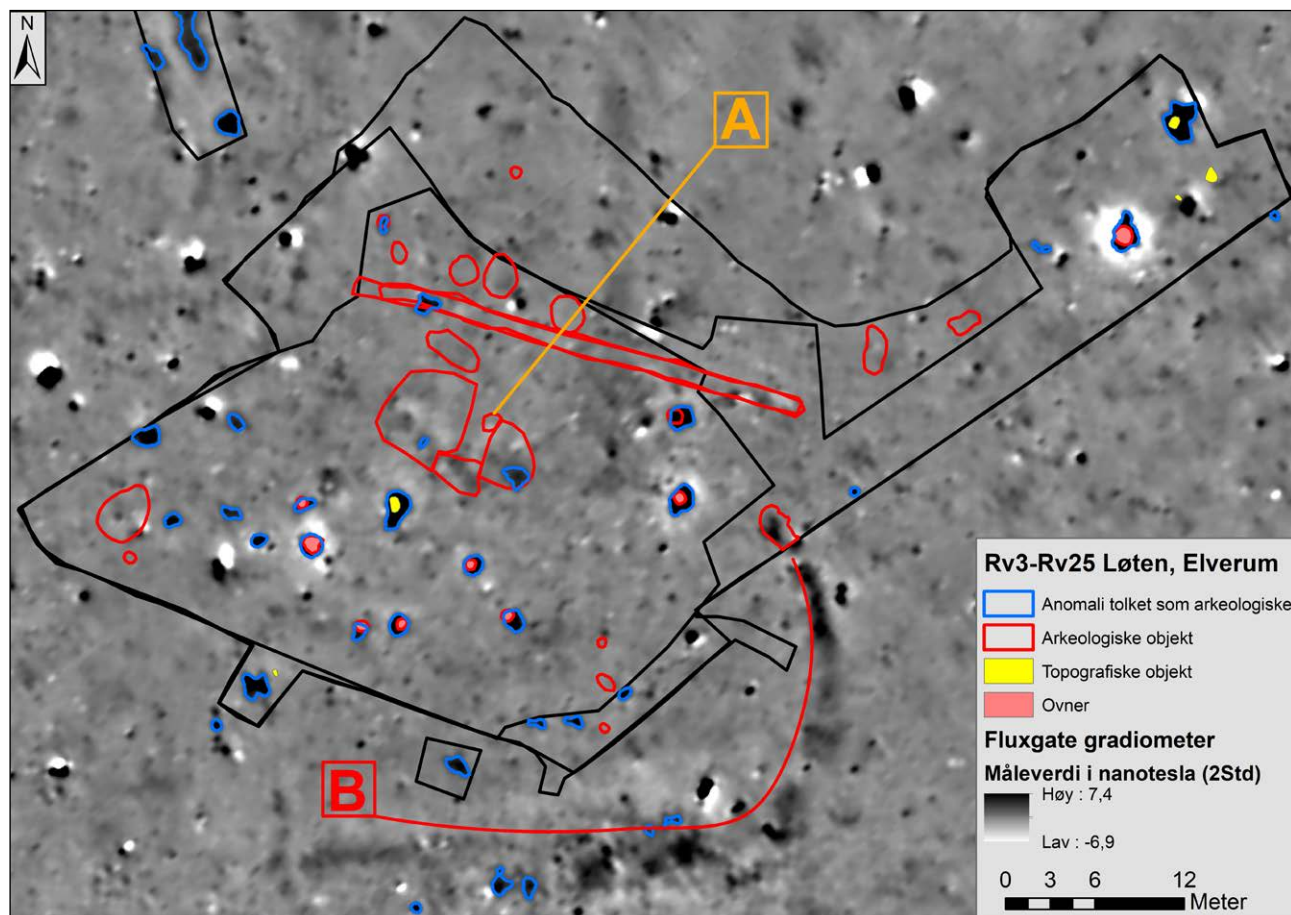
i området. En rekke anomalier ble tolket som nye potensielle strukturer og aktivitetsområder.

### 11.3.1 Magnetisk susceptibilitet

Kartet presentert i figur 11.1 gir et inntrykk av variasjonene i den magnetiske susceptibiliteten i grunnen omkring de registrerte lokalitetene. På Ånestad 1, som ligger øst for den nord-sørgående rv. 3., viser data-settet høyere verdier fra midtpunktet av lokaliteten (merket med 141263 på figur 11.1), hvor utgravningene påviste ytterligere fire jernproduksjonsovner. For de to enkeltliggende ovnene øst for Ånestad I (merket henholdsvis 141245 og 141239) er det ikke større soner med forhøyede verdier. Disse viste seg å være enkeltliggende ovnsanlegg. I tillegg synes tydelig forhøyede verdier like sør for området merket som arkeologisk minne i rødt. Dette området lå utenfor det arealet som var definert som sørlige ende av reguleringsplanen, og dermed ikke undersøkt av Hedmark fylkeskommune. Det er således uklart om dette er en arkeologisk lokalitet, da området ikke ble arkeologisk undersøkt av hverken fylkeskommunen



Figur 11.1. Interpolert kart over målt magnetisk susceptibilitet i matjordslaget på Ånestad. Ånestad 1 i øst og Ånestad 2 i vest. Kart: Arne Anderson Stamnes, NTNU.



**Figur 11.2.** Direkte sammenligning mellom geofysiske tolkninger av mulig arkeologi (i blått) og utgravningsdata fra Ånestad 1. Bokstav A angir et område tolket som primærsmiingsområde i felt. Bokstav B markerer et kurvet positivt utslag som så vidt ble berørt i forbindelse med utgravningene. Illustrasjon: Arne Anderson Starnes, NTNU.

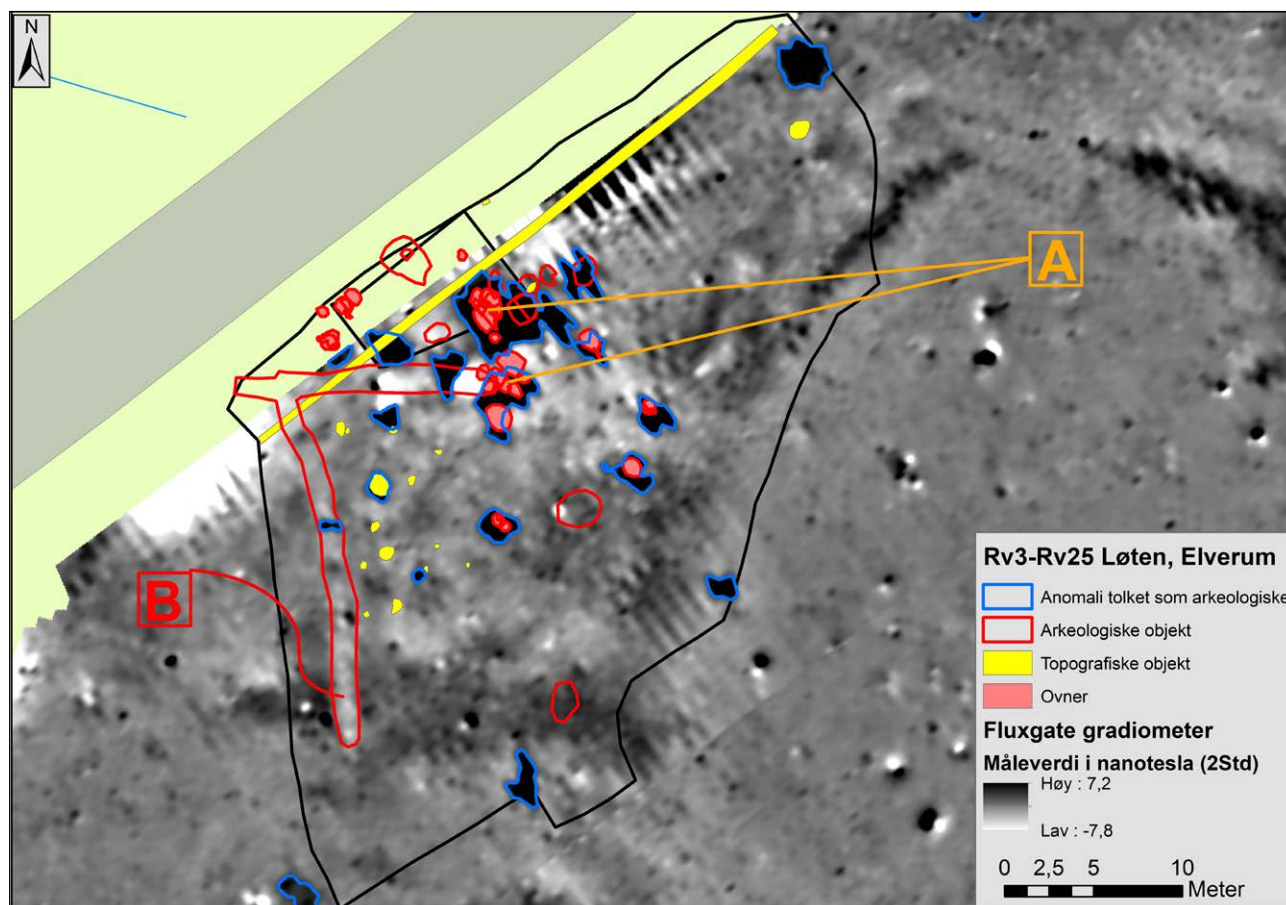
Arkeologisk struktur	#	# tolket som mulig arkeologi	%	Synlig, men ikke tolket	% synlig	Totalt tolket og synlig	Totalt synlig
Ovn	31	29	94 %	0	0 %	29	94 %
Grop	6	2	33 %	0	0 %	2	33 %
Annet	5	1	20 %	1	20 %	2	40 %
Nedgravning	4	2	50 %	1	25 %	3	75 %
Avfallsgrop	4	1	25 %	0	0 %	1	25 %
Lag	3	2	67 %	0	0 %	2	67 %
Kullag	2	0	0 %	0	0 %	0	0 %
Slagghaug	1	1	100 %	0	0 %	1	100 %
Steinansamling	1	0	0 %	0	0 %	0	0 %
Steingjerde	1	0	0 %	1	100 %	1	100 %
<b>Totalt</b>	<b>58</b>	<b>38</b>	<b>66 %</b>	<b>3</b>		<b>41</b>	<b>71 %</b>

**Tabell 11.1.** Sammenfall mellom utgravde arkeologiske strukturer og geofysiske tolkninger.

eller Kulturhistorisk museum (se også figur 11.2). På bakgrunn av de geofysiske målingene er det nærliggende å tro at området rommer flere ovnsanlegg.

På Ånestad II, vest for rv. 3, er det også påvist forhøyede verdier, spesielt langs den sørvest-nordøstgående rv. 25. Dette er effekter som ofte observeres

langs veier med tung trafikk, og er mest sannsynlig metaller fra eksos fra biler som faller ned i veikanten og gir forhøyede magnetiske måleverdier. Cirka 70 meter sørøst for Ånestad 2 er det også et avgrenset område med forhøyede verdier, men dette lå utenfor anleggsområdet og ble ikke undersøkt videre.



**Figur 11.3.** Direkte sammenligning mellom geofysiske tolkninger av mulig arkeologi (i blått) og utgravningsdata fra Ånestad 2. Bokstav B angir et steingjerde. Bokstav A angir områder med mange ovner som nærmest ligger som en samling. Illustrasjon: Arne Anderson Stamnes, NTNU.

### 11.3.2 Gradiometer-undersøkelser

Et stort datasett ble gjort tilgjengelig for utgravningsprosjektet. Dette inkluderer kart over rådata og kartfiler med tolkningene. I tillegg ble det laget tetthetskart («kernel-density»-analyser) basert på de geofysiske anomaliene som ble tolket som arkeologi eller mulig arkeologi («?Arkeologi»). I denne teksten bruker vi kun utvalgte eksempler, og det opprinnelige datasettet dekker et mye større område (Stamnes 2015a).

Ved å sammenligne de innmålte arkeologiske strukturene med tolkningen av det geofysiske datasettet kom det frem følgende statistikk:

For Ånestad 1 var det 43 anomalier tolket som mulig arkeologi innenfor det utgravde arealet. 13 av disse viste seg å være arkeologiske strukturer. Dette tilsvarer et sammenfall på 30 %. For Ånestad 2 var 63 anomalier tolket som mulig arkeologi innenfor det utgravde arealet. 25 av disse viste seg å være arkeologiske strukturer, noe som gir et sammenfall på 40 %. Dette vil si at flere strukturer var tolket som mulig arkeologi, enn hva som var arkeologi.

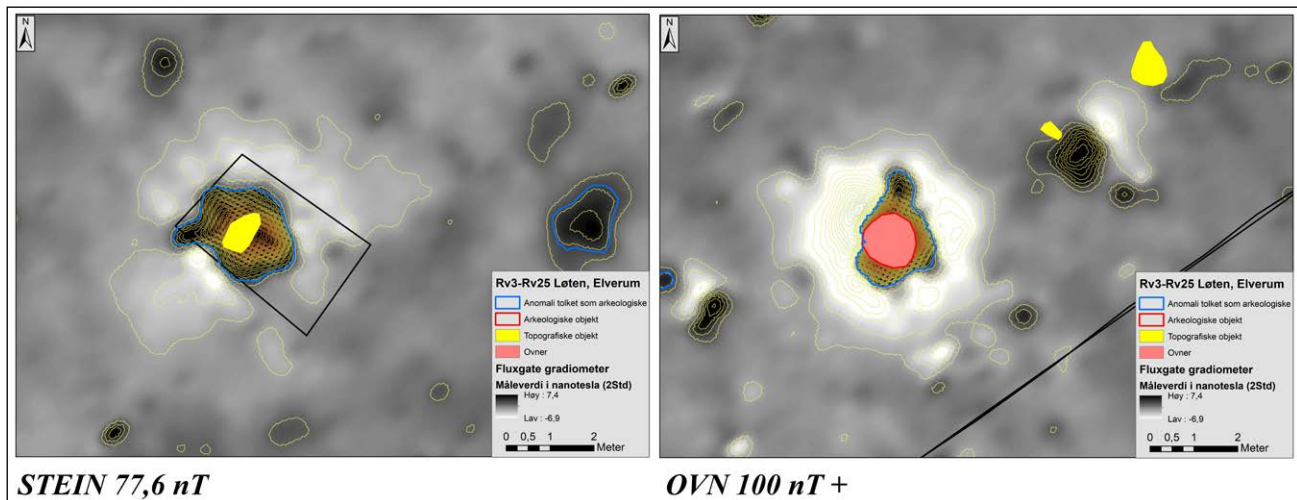
I tabell 11.1 er det gjort en beregning av hvilke av strukturene som ble påvist under utgravningen

som også var synlige i gradiometerdatasettet. Her er treffprosenten langt høyere.

Tabell 2 viser hvilke tolkninger som ble gjort av de 31 påviste ovnsanleggene på Ånestad gjennom geofysikken. 12 anomalier var tolket som ovner eller mulige ovner basert på sammenligning av form og geofysisk respons fra de kjente ovnene påvist av Hedmark fylkeskommune, 14 var tolket som «mulig arkeologi» basert på definerte kriterier, og tre ovner var tolket som slagghauger, mens to ikke ble påvist og identifisert i datasettet.

Utgravde ovner		
Korrekt tolket som ovn eller mulig ovn	12	39 %
Tolket som slagghauger	3	10 %
Tolket som mulig arkeologi	14	45 %
Ovner som ikke ble påvist	2	6 %
Totalt	31	100 %

**Tabell 11.2.** Vurdering av de geofysiske og arkeologiske tolkningene av de utgravde ovnene.



**Figur 11.4.** Eksempel på geofysisk respons på en stein (til venstre markert med gul farge) og en ovn (til høyre markert med lys rød farge). Begge har rund form med et markert omriss av negativt utslag. Illustrasjon: Arne Anderson Starnes, NTNU.

	Gjennomsnittlig magnetisk kontrast i nT	Standardavvik ( $\pm$ )	Gjennomsnittlig størrelse på geofysisk anomali i m <sup>2</sup>
Enkeltliggende ovner (n = 13)	40,7	31,7	1,77
Store steiner (n = 6)	45,36	32,4	3,27
Grop	4,8		0,34
Avfallsgroper	18,2		3,65
Slagghauger	18,7		1,93

**Tabell 11.3.** Gjennomsnittlig respons i styrke og størrelse for ulike arkeologiske strukturer. Første kolonne angir målingenes styrke i nanotesla (nT). Standardavvik angir den statistiske variasjonen i målingene av de gjeldende kategoriene. N = antall.

Selv om 29 av 31 ovner (94 %) var tolket som enten ovner eller mulig arkeologi, viser tabell 11.2 at det var 39 % som ble identifisert som ovner, mens 10 % ble tolket som slagghauger og 45 % som «mulig arkeologi». Selv om mange var innenfor kategorien «mulig arkeologi», er det rom for forbedringer for selve identifikasjonen av mulige ovner i slike geofysiske datasett. Spesielt på Ånestad 2 (figur 11.3, bokstav A) er det tydelig at mange av ovnene «gjemmer» seg inni større soner med kraftige utslag. På Ånestad 1 (figur 11.2) fremstår ovnene som enkeltliggende, positive utslag.

Det ble også åpnet enkelte sjakter for å undersøke anomalier tolket som mulige ovner. Disse geofysiske utslagene hadde en form, utseende og karakteristikk som liknet på det som var antatt å være ovner. Det var derfor viktig å avklare om signaturene representerte ovner eller andre anomalier. Det ble åpnet sju søkesjakter med utgangspunkt i tolkningene av det geofysiske datasettet på Ånestad 1 (se kapittel 10 i denne boken). Tre av signaturene var større steiner, to viste seg å være leirelommer i siltundergrunnen, mens de to siste ikke lot seg påvise i sjaktene. Leirlommene ble ikke innmålt, så vi har ikke mulighet til å hente ut de geofysiske måleverdiene for akkurat disse. På Ånestad 2 (se kapittel 10 i denne boken) ble det åpnet

fire søkesjakter med gravemaskin i områder med geofysiske anomalier, uten at feltmannskapet observerte kulturminner. Det ble konkludert med at to av signaturene viste steiner, mens to andre signaturene ikke kunne forklares ut feltobservasjonene.

### 11.3.1 Ovner vs. steiner – geofysisk karakteristikk

Ved å sammenlikne størrelse og de enkeltliggende geofysiske utslagene fra ovner og innmålte steiner avdekket ved utgravningen kan man på bakgrunn av dataene fra Ånestad 1 og 2 gjøre en justert tolkning av datasettet som vil kunne være til hjelp ved vurdering andre jernproduksjonsanlegg i områder med tilsvarende undergrunnsforhold. For Ånestad er det kartlagte stein- og blokkinnholdet i matjorda på 0,5-10 m<sup>3</sup> i de øverste 50 cm (Nibio 2019). Tilstedeværelsen av kampestein ble bekreftet ved besøk på lokaliteten mens etterfølgende veiarbeider pågikk. NGU sine løsmasse-kart klassifiserer området som tykk morene, som kan være dannet av temmelig usorterte masser (NGU 2019b). Berggrunnen i nærområdet er sandstein, leirskifer og alunskifer, som alle er relativt lite magnetiske. Om lag en kilometer mot øst er undergrunnen beskrevet som granitt (magmatisk) og granittisk gneis (metamorfisk

bergart omdannet fra granitt), altså bergarter som langt oftere har sterkere magnetiske signaturer (NGU 2019a). Det er derfor stor sjans for tilstedeværelse av enkeltliggende steinblokker av granitt eller granittisk gneis på utgravningsfeltet, noe både de geofysiske målingene og observasjoner i felt bekrefter.

Tabell 11.3. viser at rent styrkemessig kan både steiner og enkeltliggende ovner ha omtrent like kraftig geofysisk kontrast, og variasjonen i standardavvik kan være temmelig likt. Som vist på figur 11.4 kan signaler fra enkeltliggende steiner og enkeltliggende ovner være temmelig like, med et relativt kraftig positivt signal, omkranset av signaturer med negative verdier. Derimot er det en temmelig stor forskjell i størrelsen på de geofysiske anomalierne i areal (figur 11.5). Kun én av de seks steinene som ble tolket som mulige ovner på Ånestad, har tilsvarende størrelse som ovnene. Steinene måler i snitt over 3 m<sup>2</sup>, mens alle ovnene er mindre enn 3 m<sup>2</sup> med en snittverdi på 1,77 m<sup>2</sup>.

#### 11.4 DISKUSJON

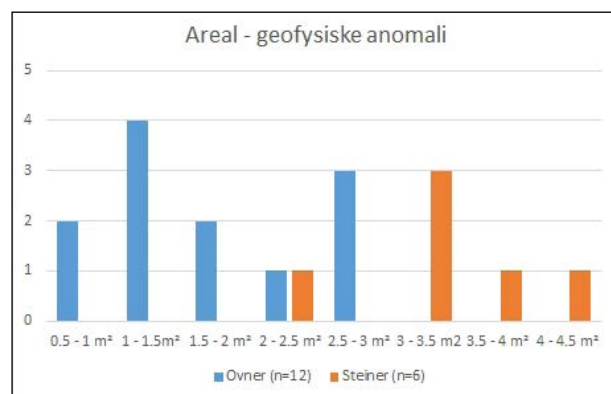
Fra et geofysisk synspunkt er målingene av magnetisk susceptibilitet i grunnen anvendelig til å indikere omtrentlig avgrensning av aktivitetssonene relatert til jernutvinning i dyrket mark. I utmark har metoden også vært egnet for å påvise mer spesifikk aktivitet, som f.eks. malmlager, røstesteder og generelle aktivitetsområder (Stamnes 2015b, Stamnes mfl. 2019). På Ånestad indikerte målingene av magnetisk susceptibilitet at aktivitetsområdene var større enn lokalitetsgrensene som var lagt inn i kulturminneregisteret Askeladden. I tillegg ble det påvist flere mulige aktivitetsområder som lå utenfor grensene for det planlagte tiltaket (se også lokalitetskart i kapittel 10 i denne boken).

Når det kommer til gradiometerdataene, indikerte disse en rekke anomalier som ikke viste seg å være direkte påvisbare ved arkeologiske undersøkelser. Større steiner ga utslag som var sammenlignbare i form og geofysisk respons (se figur 11.4), og det ble brukt ekstra tid og energi på å testgrave mindre sjakter for å etterundersøke de geofysiske tolkningene. Det var også et større steingjerde på Ånestad II (merket med bokstaven «B» på figur 11.3.) som ikke var tolket, og det ble i felt oppfattet som om denne ikke ble påvist i de geofysiske dataene. Ved gjennomgang av det geofysiske datasettet i ettertid er imidlertid steingjerdet lett gjenkjennelig, men det ikke ble tegnet ut og tolket ved arbeidet med den geofysiske rapporten. De geofysiske datasettene ble også gjort tilgjengelig for feltmannskapet, men ingen av de prosjektansatte hadde tilstrekkelig med tid, erfaring og kunnskap om metoden til å kunne gjøre egne tolkninger underveis i utgravningen.

En stor utfordring ved bruk av metoden er at utgravningsmannskapet ikke nødvendigvis har kunnskaper til å kunne tolke de geofysiske dataene på egen hånd, men er avhengige av geofysikerens tolkninger. Kvaliteten på geofysikerens tolkning er igjen avhengig av deres erfaring, kompetanse, arkeologiske kunnskaper og forståelse av de arkeologiske problemstillingene i prosjektet. Under feltarbeidets gang var det kommunikasjon mellom utgravningsleder og geofysiker, men noen av usikkerhetsmomentene kunne trolig vært løst om geofysiker også var til stede og kunne hjelpe til med utvalg av områder som skulle åpnes med søkesjakter. Det ble brukt mellom fire og seks dagsverk på dette arbeidet, og om antallet søkesjakter med negativt resultat kunne vært redusert, ville det vært innsparende med tanke på gravemaskinbruk, samtidig som feltarkeologene kunne investert mer tid i sikre objekter. Det kan derfor være en idé å budsjettere med noe arbeidstid for oppfølging av tolkningen av det geofysiske datasettet etter at den opprinnelige tolkningen og rapporteringen er utført.

Figur 11.5 viser at på Ånestad var utslagene til steinene større enn ovnene. Et dyptliggende objekt har gjerne et bredere utslag (Aspinall mfl. 2009), noe som også muligens kan forklare hvorfor man i enkelte av sjaktene hadde geofysiske anomalier man ikke klarte å påvise i den sterile grunnen. Det er alltid en fysisk årsak til en geofysisk anomali (Löcker mfl. 2015), men i gradiometerdata er det generelt vanskeligere å indikere dybden til et objekt. En kombinasjon med georadar-data vil trolig ha kunne bidratt med mer detaljert informasjon om dette. Årsakene til at en ved utgravningen ikke ser årsaken til anomaliene, er typisk at det er noe som befant seg i matjord, under steril grunn, eller rett og slett ikke var synlig for det blotte øye.

Dersom det skal benyttes kostnadskrevenne metoder ved utgravninger, må det foreligge gode argumenter for hva metodene vil kunne bidra med og hvilke kunnskaper om de berørte kulturminnene som vil kunne avdekkes gjennom metoden. I dette tilfellet



Figur 11.5. Størrelsen på de geofysiske anomalierne i m<sup>2</sup>. Ovner vs. steiner.

begrenset prosjektets rammer den geofysiske undersøkelsen og derigjennom mulighetene for å undersøke større områder enn allerede prosjektert eller kontrollsjekke områder med interessante anomalier og observasjoner også utenfor tiltaksgrensene. Det ble heller ikke anledning til å anvende geofysikk-dataene i selve registreringsfasen av prosjektet.

Ved undersøkelsene på Ånestad var det allerede to aktivitetsområder som var påvist gjennom sjaktning. Disse forhåndsdefinerte områdene skulle uansett undersøkes, og de geofysiske dataene fikk dermed en ganske begrenset anvendelsesverdi. På Ånestad I ble det for eksempel påvist flere anomalier tolket som mulige ovner mellom sjaktene. Påvisningen i et allerede kjent område som uansett skulle åpnes, ga dermed begrenset verdi til tross for at strukturene ble observert. Et buet geofysisk utslag sør for Ånestad 1 ble i veldig liten grad undersøkt (Intrasis id A1548, se bokstav B på figur 11.2), da dette kun delvis tangerte undersøkelsesområdet. Kunnskapen om strukturen ville i dette tilfellet neppe ha endret budsjettrammene og prosjektplanen som helhet, men kunne bidratt til å forsterke tolkningen. Det kan også bemerkes at det var registrert to ovner (Hansen 2011) som ikke ble gjenfunnet ved de arkeologiske utgravningene. Et viktig moment er imidlertid at sjaktning ikke ser ut til å ha forstyrret signalene til strukturene under matjorden. Alle ovnene som tidligere var påvist gjennom sjaktning var fremdeles synlige etter avdekking og gjenfylling når de geofysiske målingene ble gjennomført.

Ved fremtidig bruk av metoden er det derfor klart at målingene må gjøres på et så tidlig stadium som mulig, og de bør kontrolleres ved hjelp av prøvesjakter for å være sikker på at anomaliene viser arkeologiske levninger. Flere undersøkelser har vist at bruk av magnetometer kan fungere godt der jordsmonnet er ensartet, for eksempel leirundergrunn eller sandbunn (Gustavsen & Stamnes 2012; Bill mfl. 2013) med få forstyrrende elementer som stein iblandet jordsmonnet. I mer homogene geologiske undergrunnsforhold vil ofte anomalier fremtre tydelig og godt adskilt fra den sterile undergrunnen, men annerledes er det når geofysikken gjøres i områder med steinrik morene, som gjør det vanskelig å peke ut og tolke de mange ulike signaturene moreneavsetningene har avsatt. Erfaringene fra Ånestad viser likevel at kartering av anomaliene etter signatur, styrke, størrelse og utseende kan brukes til å skille mellom ovner og steiner.

En faktor som kan være med på å vanskeliggjøre tolkningene av jernvinne i dyrket mark er at enkelte anlegg ligger delvis over hverandre og at slagg kan være dratt ut i matjordslagene slik at signalene blir mer utydelige for strukturene som delvis er bortpløyd. For Ånestad 2 var det for eksempel vanskelig å skille de

ulike ovnene og aktivitetssonene fra hverandre (figur 11.3), og på Ånestad 1 ble det påvist et primærsmiingsområde som i liten grad hadde en tydelig magnetisk kontrast i gradiometer-dataene (figur 11.2). I begge tilfellene var det forhøyede verdier i den magnetiske susceptibiliteten på jordoverflata.

Det er viktig at ikke bare suksesshistoriene trekkes frem når metoden beskrives i arkeologiske tekster, den bør også diskuteres opp mot eksempler på vanskelige kontekster. Metoden er imidlertid interessant, og utvidede analyser av lokaliteter som Ånestad bidrar til å utvikle metoden videre for bruk i forvaltningsammenheng. Slik bidrar denne undersøkelsen til den kollektive erfaringen med å arbeide med slike datasett, og er en viktig case-studie for fremtidige undersøkelser av lokaliteter med liknende geologiske forhold, og tilsvarende geofysisk respons.

## 11.5 KONKLUSJON

Målet med denne artikkelen var å presentere resultatene fra de geofysiske undersøkelsene, og sammenligne resultatene med de utgravde arkeologiske strukturene. På bakgrunn av dette ble det foretatt en analyse av sammenfallet mellom geofysiske og arkeologiske observasjoner. I analysen er forskjellen i geofysisk respons mellom magnetiske steinblokker og jernproduksjonsovner trukket frem. Rent visuelt likner den geofysiske responsen fra disse to objektene veldig mye både i geofysisk karakteristikk (plassering og form for den positive og negative delen av signalet) og styrke. Dette førte til at enkelte store steiner i forkant av utgravningene ble tolket som jernvinneovner, og medførte noe merarbeid uten noe særskilt arkeologisk resultat. På den annen side viser analyser av datamaterialet at det under de gjeldende forholdene i denne landskapskonteksten er mulig å skille mellom steiner og ovner ved å se på størrelsen på det positive anomali, hvor fem av seks steiner var større enn 3 m<sup>2</sup>, mens alle ovnene var under 3 m<sup>2</sup>. Slike tolkningsprosesser er med på å raffinere metoden og gjøre den enda mer anvendelig ved fremtidige undersøkelser.

Av alle utgravde arkeologiske strukturer var ca. 66 % tolket som mulig arkeologi, og ved sammenligning med rådataene var det flere arkeologiske strukturer som faktisk var synlige i dataene, men ikke hadde blitt tolket som mulig arkeologi. Etter bearbeiding var 71 % av alle innmålte arkeologiske strukturer på Ånestad en synlig magnetisk kontrast i gradiometerdataene. Målingene av magnetisk susceptibilitet i toppen av matjorda ga et relativt godt bilde av utstrekningen til aktivitetsområdene for jernvinneproduksjon. Den største utfordringen med bruken av denne typen av data på Ånestad var at de geofysiske innmålingene kom sent inn i prosjektet



på et stadium hvor budsjetter og prosjektplan allerede var utformet. På den måten representerte denne delen av prosjektet en ekstra kostnad, og det var relativ liten fleksibilitet i å tilpasse utgravningsstrategi og størrelsen på utgravningsområdene basert på de geofysiske resultatene. Ved fremtidig bruk bør metoden anvendes tidligere i prosjektet, gjerne i det innledende registreringsarbeidet. De geofysiske målingene ga forholdsvis begrenset nytteverdi i felt, da kun tolkningene av de geofysiske dataene ble anvendt og i liten grad lot seg bruke til å definere utgravningsområder som ikke var definert tidligere. Det siste henger trolig sammen med kommunikasjon underveis og hvilken kjennskap arkeologene har til de geofysiske metodene. Trolig ville de geofysiske resultatene hatt større nytteverdi hvis de ble utført i forkant av registreringene fra fylkeskommunen og utformingen av prosjektet som helhet. En tettere kommunikasjon mellom geofysiker og utgravende arkeologer mens feltarbeidet pågikk, ville trolig også ha økt nytteverdien til disse målingene.

The site has cooking pits dating back to the 4<sup>th</sup> century AD. There is a longhouse with a sequence of phases up until, or just before, the hoard was sequestered. Two furnaces that were contemporary with the hoard were also unearthed.

Among the tools found were several massive objects of unusual size, among them a sledgehammer, a hammer and an ore spade. Not all these items are among the regular blacksmithing tools of the Late Iron Age. Our conclusion is that the hoard and the tools were for use in the primary production of iron furnaces and in coarse smithing to reduce the impurities and produce iron ingots.

#### 11.6 ABSTRACT: GEOPHYSICAL SURVEYS OF IRON PRODUCTION SITES IN CULTIVATED LAND – OBSERVATIONS, ANALYSIS AND EXPERIENCES FROM ÅNESTAD

A geophysical survey was performed at Ånestad in Hedmark using two different techniques: the measurements of topsoil magnetic susceptibility and the use of gradiometers for detailed mapping of anomalies with a magnetic contrast. The purpose was to gain increased background knowledge in advance of planned archaeological excavations. A special focus was on mapping iron production sites and features related to these that had not been indicated by a prior test-trenching scheme. This article presents the results of these surveys and compares the geophysical data with the excavation results in order to critically evaluate the interpretations made in relation to the geophysical datasets. The article presents statistics derived from these comparisons and discusses the potential and limitations seen from a

cultural heritage management perspective. About 65% of all archaeological features detected were prior to the excavation indeed interpreted as potential archaeology in the geophysical data, including 29 out of 31 excavated furnaces. The topsoil magnetic susceptibility revealed the areas influenced by high-temperature metal crafts well and indicated areas of activity larger than the site limits set in advance of the excavations. The gradiometer-data showed that most shaft furnaces had a prominent geophysical signature. There was a range of detected anomalies, for which no recognizable source could be found during the archaeological investigations. Moreover, large rocks had comparable geophysical signatures to the iron furnaces but could be distinguished due to the larger size of the anomalies. The geophysical results would probably have had a larger impact on the project planning if they had been obtained prior to the test-trenching scheme, instead of after.

#### 11.7 LITTERATUR

- Aspinall, Arnold, Chris Gaffney og Armin Schmidt  
2009 *Magnetometry for Archaeologists*. First Edition ed. Geophysical Methods for Archaeology. AltaMira Press, Plymouth.
- Bill, Jan, Erich Nau, Wolfgang Neubauer, Immo Trinks, Christer Tønning, Lars Gustavsen, Knut Paasche og Sirri Seren  
2013 Contextualising a Monumental Burial – The Gokstad Revitalised Project. I *Archaeological Prospection. Proceedings of the 10th International Conference – Vienna, May 29th – June 2nd 2013.*, redigert av Wolfgang Neubauer, Immo Trinks, Roderick B. Salisbury og Christina Einwögerer. Austrian Academy of Sciences Press, Wien.
- Crew, Peter og Susan Crew  
1995 Medieval bloomeries in North-West Wales. I *The Importance of Ironmaking: Technical Innovations and Social Change, Norberg 1995*, redigert av G. Magnusson, s. 43–50. Jernkontorets Berghistoriska Utskott, Stockholm.
- Crowther, John og Peter Barker  
1995 Magnetic susceptibility: Distinguishing anthropogenic effects from the natural. *Archaeological Prospection* 2(4):207–215.
- Dalan, Rinita A.  
2008 A review of the role of magnetic susceptibility in archaeogeophysical studies in the USA: recent developments and prospects. *Archaeological Prospection* 15(1):1–31.
- Dearing, John  
1999 *Environmental Magnetic Susceptibility – Using the Bartington MS2 System*. Second Edition ed. Bartington Instruments Limited.

- Gustavsen, Lars og Arne Anderson Stamnes  
2012 Arkeologisk geofysikk i Norge – En historisk oversikt og statusvaluering. *Primitive tider* 14:77–93.
- Hansen, Fredrik Bratlie  
2011 *Rapport fra arkeologisk registrering i forbindelse med oppstart av regulerings-planarbeid for Riksvei 3/25 Løten – Elverum*, Hedmark fylkeskommune, Kulturhistorisk museums arkiv (ref. 2011/12427).
- Hargrave, Michael L.  
2006 Ground Truthing the Results of Geophysical Surveys. I *Remote Sensing in Archaeology: An Explicitly North American Perspective*, redigert av Jay K. Johnson, s. 269–304. University of Alabama Press, Tuscaloosa.
- Heske, Immo og Martin Posselt  
2009 Archaeology and landscape features in Magnetometer Data. *ArcheoSciences* 33:137–139.
- Larsen, Jan Henning  
2009 *Jernvinneundersøkelser. Faglig program bind 2*. Varia, vol. 78. Kulturhistorisk museum. Fornminneseksjonen, Oslo.
- Linderholm, Johan  
2010 The soil as a source material in archaeology. Theoretical considerations and pragmatic applications. Department of historical, philosophical and religious studies, Umeå University, Sweden, Department of historical, philosophical and religious studies. Umeå University, Sweden.
- Löcker, Klaus, Matthias Kucera, Immo Trinks og Wolfgang Neubauer  
2015 Successfully falsified... On epistemological problems of archaeological excavations and geophysical surveys. *Archaeologica Polona* 53:222–224.
- Lønaas, Ole Christian, Axel Mjærum, Bernt Rundberget, Ingar M. Gundersen og Jostein Bergstøl  
2014 *Prosjektplan. Undersøkelse av 75 lokaliteter med fornminner. Reguleringsplan for Rv 3/25, Ommangsvollen – Elverum grense. Løten kommune, Hedmark*, Kulturhistorisk museum, Kulturhistorisk museums arkiv (ref. 2011/12427).
- NGU  
2019a *Nasjonal berggrunnsdatabase*, Norges geologiske undersøkelser (NGU), <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>, accessed 30.09.2019, 2019.  
2019b *Nasjonal løsmassedatabase*, Norges geologiske undersøkelser (NGU), <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>, accessed 30.09.2019, 2019.
- Nibio  
2019 *Kilden – kartløsning for arealinformasjon, landskap, jordsmonn, reindrift og skog*, Norsk Institutt for Bioøkonomi (NIBIO), <https://kilden.nibio.no>, accessed 30.09.2019, 2019.
- Risbøl, Ole og Tatyana Smekalova  
2001 Archaeological Survey and Non-Visible Monuments - The Use Of Magnetic Prospecting in Outfield Archaeology. *Nicolay Arkeologisk Tidsskrift* 85(3):32–45.
- Rundberget, Bernt  
2007 *Jernvinna i Gråfjellområdet*. Varia, vol. 63. Kulturhistorisk museum, Fornminneseksjonen, University of Oslo, Oslo, Norway.
- Schmidt, Armin  
2007 Archaeology, magnetic methods. I *Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism*, redigert av David Gubbins og Emilio Herrero-Bervera, s. 23–31. Encyclopedia of Earth Sciences Series Heidelberg. Springer, New York.
- Smekalova, Tatyana og Olfert Voss  
2001 Magnetisk kortlægning af arkæologiske anlæg i Danmark 1992–2000. I *Nationalmuseets arbejdsmark*, redigert av Jørgen Nordqvist og Bente Gammeltoft, s. 148–161. Nationalmuseet, Copenhagen, Denmark.  
2002 Field Procedures for Magnetic Investigations of Iron-Smelting Sites with Slag Pits. I *Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia. Aspects of Technology and Science*, redigert av L. & O. Voss Nørbach, s. 223–226, 322–335. Aarhus University Press, Moesgaard Museum, Aarhus.
- Smekalova, Tatjana, Olfert Voss og Sergej L. Smekalov  
2008 *Magnetic surveying in archaeology: more than 10 years of using the overhauser GSM-19 gradiometer*. 2nd rev. ed. Wormianum, Højbjerg.
- Stamnes, Arne Anderson  
2015a *Rapport fra geofysiske undersøkelser på Ånestad, Løten*, NTNU Vitenskapsmuseet., Kulturhistorisk museums arkiv (ref. 2011/12427).  
2015b Using magnetic survey methods to delimit and characterize prehistoric iron production sites in Norway. *Archaeologica Polona* 53:376–380.  
2016 The Application of Geophysical Methods in Norwegian Archaeology: A study of the status, role and potential of geophysical methods in Norwegian archaeological research and cultural heritage management. Doktoravhandling. Faculty of Humanities, Department of Archaeology and Cultural History, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway.
- Stamnes, Arne Anderson, Lars F. Stenvik og Chris Gaffney  
2019 Magnetic Geophysical Mapping of Iron Production Sites in central Norway. I Investigating early iron production by modern remote sensing technologies, redigert av Stamnes, Arne Anderson, Ole Risbøl og Lars F. Stenvik. DKNVS (Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab) Skrifter 2-2019, s. 71–113. The Royal Norwegian Society of Sciences and Letters. Trondheim.