

(A) = Åpen, kan bestilles fra Universitetet i Stavanger / Arkeologisk museum

(B) = Begrenset distribusjon

(C) = Kan ikke utleveres



Jordkjemiske undersøkelser av røysfeltet på Orstad, Klepp k.

Ruben With og Hege Ingjerd Hollund

Gård: Orstad

Gårdsnr/bruksnr: 9/15 og 34

Kommune: Klepp

AM saksnummer: 2011/1438

Journalnummer:

Dato: 22.01.2015

Sidetall: 12

Opplag: 15

Oppdragsgiver: Østerhus Tomter AS

Stikkord: Steinrøys, gravrøys, gravkammer, jordprøver, bevaringsforhold, glødetapsanalyse, grunnstoffsanalyse, røntgenfluorescens

Oppdragsrapport 2015/2
Universitetet i Stavanger,
Arkeologisk museum,
Avdeling for fornminnevern

Utgiver:
Universitetet i Stavanger
Arkeologisk museum
4002 STAVANGER
Tel.: 51 83 31 00
Fax: 51 84 61 99
E-post: post-am@uis.no

Stavanger 2015

Jordkjemiske undersøkelser av røysfeltet på Orstad, Klepp k.

Orstad gnr 9, bnr 15 og 34

Ruben With og Hege Hollund



Universitetet
i Stavanger

Arkeologisk museum

Universitetet i Stavanger Arkeologisk museum OPDRAGSRAPPORT	RAPPORTNUMMER 2015/2
Universitetet i Stavanger Arkeologisk museum, 4036 Stavanger Telefon: 51832600, fax: 51832699, e-post: post-am@uis.no	TILGANG Begrenset distribusjon
RAPPORT TITTEL Jordkjemiske undersøkelser av røysfeltet på Orstad, Klepp k.	SIDETAL: 12 sider OPPLAG: 15 DATO: 22.01.2015
Journalnr. , Nat. Vit lab. Prosjekt nr. : SAKSHANDSAMAR: FORFATTAR(AR): Ruben With og Hege Ingjerd Hollund	

OPDRAGSGJEVAR Østerhus tomter AS	OPDRAGSGJEVAR SI REF.
REFERAT	
<p>En utgravning på Orstad (Gnr 9, Klepp k.) i 2015 påviste 20 røyser/røyslignende anlegg fordelt på to felt, hvorav en røys ble definert som sikker grav med funn av keramikk og brente ben i to kamre, og fire som rydningsrøyser. De resterende 15 røysene, som utgjør tre fjerdedeler av det totale antallet anlegg på lokaliteten, var funntomme og har derfor ukjent funksjon. Ettersom det ikke ble gjort gjenstandsfunn som indikerer bruk og funksjon av røysene, ble det samlet inn jordprøver for kjemiske analyser som har potensiale til å kaste lys over opprinnelig innhold og aktivitet knyttet til røysene i tillegg til bevaringsforhold. Forhistoriske aktiviteter kan påvirke jordens grunnstoffsammensetning på en slik måte at endringene i dag kan måles og aktivitetsområder kan avgrensnes. I alt 26 jordprøver ble samlet inn fra ni strukturer og to kontrollområder. Glødetapsanalyser ble utført for å karakterisere bevaringsforhold (innhold kalk og organisk materiale). To av de innsamlede prøvene ble analysert med håndholdt røntgenfluorescensapparat for å avdekke grunnstoffsammensetningen. I sum viser resultatene noe variasjon mellom lokalitetene, og viser potensialet metoden har for å avdekke ulik bruk av ukjente strukturer. Kvantifisering og systematisk analyse av samtlige prøver vil være nødvendig for å forstå variasjonen i jordkjem i og utenfor strukturene ved denne lokaliteten. Dette var imidlertid ikke mulig å gjennomføre innenfor budsjettammen til prosjektet, men jordprøvene er tatt vare på og kan brukes i fremtidige undersøkelser.</p>	
STIKKORD	
Steinrøys	Røntgenfluorescens
Gravrøys	Jordprøver
Gravkammer	Bevaringsforhold
Glødetapsanalyse	
Grunnstoffsanalyse	

Innholdsfortegnelse

1. Innledning	1
2. Bakgrunn og problemstillinger	1
3. Materiale	3
4. Metode	4
4.1 Prøveuttak	4
4.2 Glødetapsanalyse	4
4.3 pXRF-analyse	7
5. Resultat og tolkning	7
5.1 Glødetapsanalyse	7
5.2 pXRF-analyse	8
6. Sammendrag og konklusjon	10
Litteraturliste	11

1. Innledning

I sammenheng med *reguleringsplan - Områdeplan for Orstad* ble det i 2012 utført registreringer på gnr. 9 i Klepp kommune. Registreringen viste at automatisk freda kulturminner var i konflikt med reguleringsplanen. Funnene inkluderte rydningsrøyser, tufter og gravrøyser som sammen utgjorde et kulturmiljø. På bakgrunn av dette ble det i 2014 utført arkeologiske utgravninger av Arkeologisk Museum, UiS. De arkeologiske resultatene er presentert i en egen rapport av Bjørdal og Rødsdalen. I sum påviste utgravningene 20 røyser/røyslignende anlegg fordelt på to felt, hvorav en røys ble definert som sikker grav med funn av keramikk og brente ben i to kamre, og fire som rydningsrøyser. De resterende 15 røysene, som utgjør tre fjerdedeler av det totale antallet anlegg på lokaliteten, var funntomme og har derfor ukjent funksjon. Alle røysene var imidlertid klart oppbygde strukturer, noen med steiner lagt i ring og i spiraler. I tillegg ble en 'kokegropaktig' struktur (1562) registrert i utkanten av feltet, også denne med ukjent funksjon, samt en tydelig ryddet flate. Denne rapporten presenterer grunnstoffsanalyse ved håndholdt røntgenfluorescens, benyttet i sammenheng ved utgravningen som et redskap for tolkning og karakterisering av ukjente, funnløse arkeologiske strukturer. I tillegg ble også glødetapsanalyser av de samme jordprøvene utført, for slik å karakterisere sedimentene som utgjorde de arkeologiske strukturene.

2. Bakgrunn og problemstillinger

Undersøkelsesområdet ligger på toppen og nordsiden av et større høydedrag som strekker seg ØNØ fra Kvernaland. Området er i dag brukt dels som opparbeida dyrka mark og dels som rydda beitemark. Steinrøysene ligger konsentrert på det høyeste punktet på høydedraget. Ettersom det ikke ble gjort gjenstandsfunn som indikerer bruk og funksjon av røysene, ble det samlet inn jordprøver for kjemiske analyser som har potensiale til å kaste lys over opprinnelig innhold og aktivitet knyttet til røysene i tillegg til bevaringsforhold. Denne muligheten ligger i relativt ny teknologi og kunnskap som så langt er lite brukt innen forvaltningsarkeologi i Norge. Blant annet har håndholdt, eller portabelt, røntgenfluorescensapparat (heretter

forkortet til pXRF = *portable x-ray fluorescence*) et potensiale som nyttig verktøy i forvaltningsarkeologien, ettersom de kjemiske analysene gjøres raskt og kostnadseffektivt, og eventuelt kan utføres i felt. Hovedproblemstillingen i dette prosjektet var følgelig: *I hvilken grad kan jordprøveanalyser bidra til å forbedre tolkningsgrunnlaget for de funntomme røysene, hvorvidt de kan tolkes som graver eller ikke?* I tillegg vil karakterisering av jorden, både ved pXRF kjemisk analyse, og glødetapsanalyse, fortelle om bevaringsforholdene og dermed bidra til å forstå tilstand på funnmateriale, og for eksempel hvorfor det ikke ble funnet bevarte levninger i graven.

Glødetapsanalyse er blitt foreslått brukt i kombinasjon med pXRF-analyser som en metode for å preparere prøvene. Vann, organisk materiale og karbonater i jordprøven kan hindre optimale resultater av analysen (Parsons et al., 2013; Hu et al., 2014) (Parsons *et al.*, 2013:1218). Dette blir fjernet som et resultat av glødetapsanalysen. Glødetapsanalyse vil i tillegg gi viktig informasjon for å karakterisere jordtype og bevaringsforhold (Kars and Kars, 2002; Jans et al., 2002)

Oonk et al. (2009a) konkluderte i 2009 på basis av litteratursøk at geokjemiske jordanalyser kan være nyttig for tolkning av arkeologiske kontekster. For eksempel vil forhøyede verdier for fosfor være indikator på tilstedeværelsen av nedbrutt beinmateriale (som er rikt på fosfor), og dermed mulige graver (Cronyn, 1990:180-181 og 275; Aston et al., 1998; Abrahams et al., 2010). I tillegg har nyere forskning vist at også andre forhistoriske aktiviteter kan påvirke jordens grunnstoffsammensetning på en slik måte at endringene i dag kan måles og aktivitetsområder kan avgrenses (Wilson et al., 2005). Tabell 1 oppsummerer ulike grunnstoff som har blitt brukt som indikatorer for arkeologiske strukturer og aktiviteter.

Oonk et al. (2009a) pekte også på utfordringer ved slike analyser, blant annet problemer med å integrere geokjemisk metodikk i arkeologisk praksis. Det er videre fremdeles problematisk å skille arkeologiske og naturlige spor på basis av geokjemi, arkeologiske og naturlige spor, og det er heller ikke entydig hvilke grunnstoffkonsentrasjoner som er sikre tegn på menneskelig aktivitet.

Lokalitet/struktur	Grunnstoff
Graver	P, Cu, Mn, Ca
Ildsteder	P, K, Mg
Møddinger	P, K
Hus/fjøs	P, Ca, Mg, Fe, K, Th, Rb, Cs, Pb, Zn, Sr, Ba
Bemalte bygninger	Tungmetaller
Gruvedrift, metallsmelting og produksjon	Cu, Pb, Mn
Generelle arkeologiske lokalteter	B, Cu, Mg, Mn, Ni, P, Se, Zn, K, Ba, Ca, Na

Tabell 1: Eksempler på arkeologiske lokaliteter og strukturer og assosiert anriking av ulike grunnstoff, fra Oonk et al. (2009a).

Standardisering av metoder og deling av sammenlignbare data har også vært vanskelig. Et av utviklingspunktene forfatterne foreslår er å stimulere utvikling av tids- og kosteffektive metoder (Oonk et al., 2009a). Flere undersøkelser etter 2009 demonstrerer at nettopp pXRF er blitt et slikt effektivt instrument. Kostnadsutvikling og økt brukervennlighet har blant annet ført til at de fleste forvaltningsmuseene i Norge har gått til anskaffelse av instrumentet. Søk i litteraturen viser at instrumentet *kan* brukes i analyse av de grunnstoffer interessante for tolkning av arkeologiske strukturer (Gauss et al., 2013; Hu et al., 2014; McLaren et al., 2012; Liritzis and Zacharias, 2011; Oonk et al., 2009a; Oonk et al., 2009b).

3. Materiale

Det ble tatt ut totalt 26 jordprøver fra flere strukturer/røyser på Orstad, og fra ulike lag (se tabell 2 og figur 1 og 2). Målsettingen var å ta ut prøver fra en kjent struktur (graven med brente ben og keramikk), ukjente strukturer (tomme røyser, kullholdig kokegropaktig struktur) og i tillegg tre kontrollprøver fra 'nøytral jord'. Jordprøvene er beskrevet i Tabell 2.

4. Metode

4.1 Prøveuttak

Profiler og områder for prøveuttak ble først lett rensket for de ytterste jordlagene. To til fire prøver ble tatt ut fra hver utvalgte struktur (Figur 1 og 2). Cirka 100 ml jord ble tatt ut med graveskje. Skjeen ble vasket med avionisert vann mellom hver prøve. Prøvene ble også beskrevet ut fra Munsell's fargekart. Prøvene ble oppbevart i merkede prøvebokser/poser, og lufttørket i kjølerom.



Figur 1: Foto til venstre viser hvor prøvene ble tatt i struktur 2AK1562 mens foto til høyre viser profil 1 i østre profilvegg hvor en av kontrollprøvene ble tatt (natvit nr 2014/12-23). Prøven ble tatt i det mørkt brune anrikningslaget, mellom det grå utvaskingslaget og undergrunnen.

4.2 Glødetapsanalyse

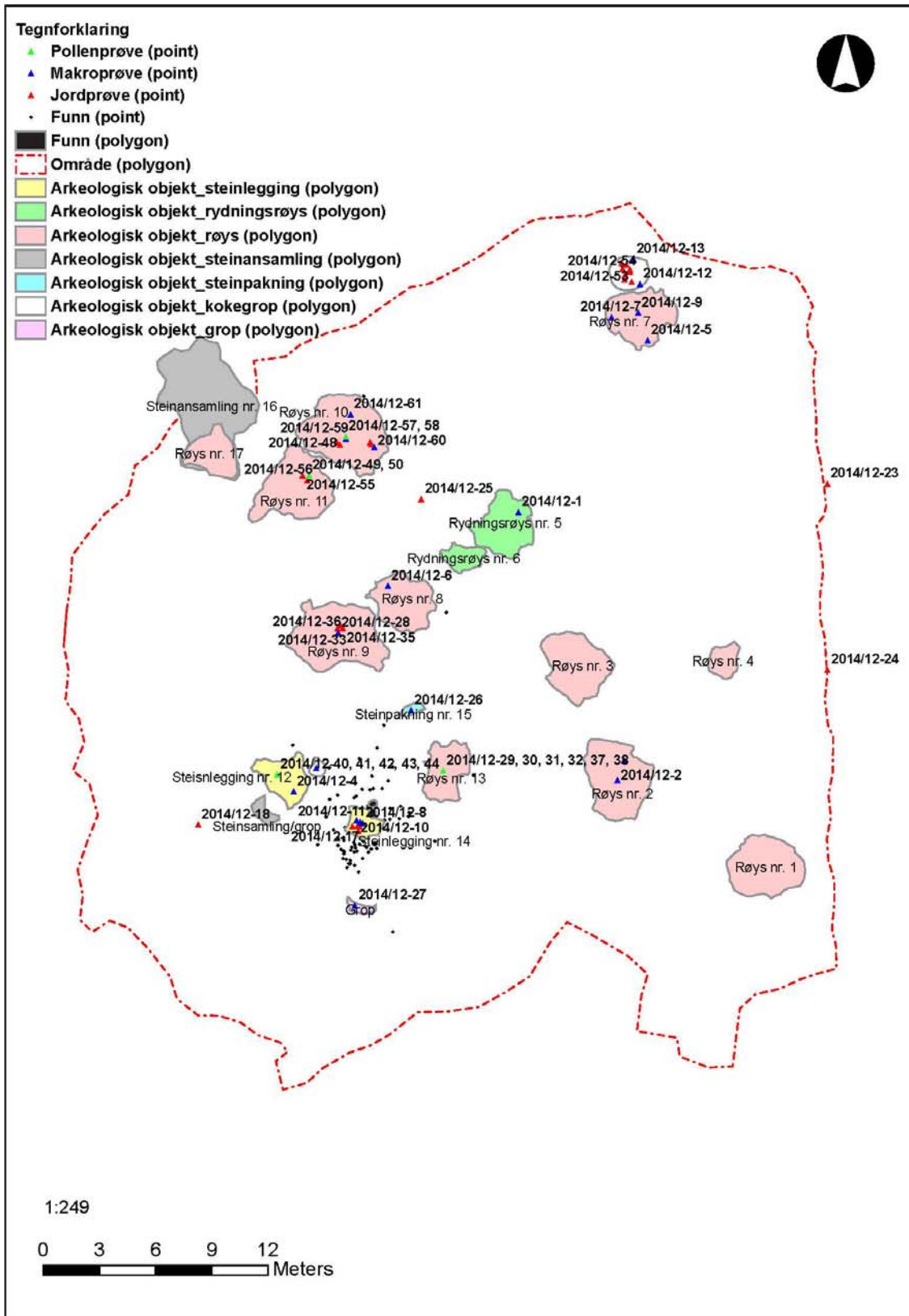
Ni av prøvene ble glødet. Protokollen for glødetapsanalyse samsvarer i stor grad med den beskrevet i Heiri et al. (2001). Cirka 3 ml jordprøve ble vegd ut og tørket ved 105 °C over natta i tørkeskap. Prøven ble så først glødet til 550 °C i fire timer, kjølt ned (i desikator), vegd, glødet igjen på 950 °C i fire timer, og vegd på nytt. Prosentvekt massetap ved hver gløding ble regnet ut etter følgende formel der TV = tørrvekt:

$$\text{Glødetapsprosent ved } 550 \text{ }^{\circ}\text{C (GT}_{550}\text{)}: (TV_{105} - TV_{550}/TV_{105}) * 100$$

$$\text{Glødetapsprosent ved } 950 \text{ }^{\circ}\text{C (GT}_{950}\text{)}: (TV_{550} - TV_{950}/TV_{105}) * 100$$

Natvitnr	Struktur	Beskrivelse
2014/12-14	2AR1060(K4)	Det eldste kulturlaget (første over undergrunn) i det sentrerte kammeret av gravrøysa. I dette kulturlaget kunne det skilles ut et sirkulært område med mørkere jordmasse, ca. 10 cm i diameter, som inneholdt brente bein.
2014/12-15	2AR1060(K4)	Det sentrerte kammeret av grava, men utenfor det mørkere området hvor prøve 2014/12-14 ble tatt. Dette området inneholdt ikke synlig beinmateriale og var noe lysere i fargen.
2014/12-16		
2014/12-17		
2014/12-18	Profilbenken vest for struktur 2AR1060 (K4)	Kontrollprøve. Prøven ble tatt fra anrikningslaget mellom det grå utvaskingslaget og den orangebrune spettete undergrunnen.
2014/12-19	1020 i 2AK1562	Ukjent type struktur med mulig kokegrop. Prøvene ble tatt fra kulturlaget over et kullholdig lag i strukturen.
2014/12-20		
2014/12-21		
2014/12-22		
2014/12-23	-	Kontrollprøver. Prøvene ble tatt fra to ulike steder i østre profilvegg i utgravningsområdet, av det mørkt brune anrikningslaget mellom det grå utvaskingslaget og den oransjebrunt spettete undergrunnen.
2014/12-24		
2014/12-25	-	Kontrollprøve. Prøven ble tatt fra et område inne på utgravningsområdet, hvor det underliggende mørkt brune anrikningslaget var rensert frem fra det grå utvaskingslaget
2014/12-33	2AR626	Et sentrert område inntil en større stein, delvis avgrenset av mindre steiner i en halvsirkel i en større sirkel og med mørkere masser enn det omkringliggende, likevel spettet med lyse områder. Tolket i felt som en mulig gravrøys (ingen bein funnet).
2014/12-34		
2014/12-35		
2014/12-36		
2014/12-45	1024 i 2AR704	Mulig kammer i gravrøys, i et mindre område mellom steiner hvor det ble funnet keramikk
2014/12-46		
2014/12-47	1023 i 2AR704	Mulig kammer i gravrøys, ingen funn i området
2014/12-48		
2014/12-51	1021 i 2AK1562	Et svært kullholdig lag med en del steiner.
2014/12-52		
2014/12-53		
2014/12-54		
2014/12-55	2AR772	Mørkere område i mulig gravrøys
2014/12-56		

Tabell 2: Beskrivelse av jordprøver. Prøvenummer i kursiv er prøvene som ble analysert med pXRF



Figur 2: Oversiktskart Felt 1 som også viser hvor jordprøver ble tatt ut (røde trekkanter).

Den første glødningen vil reflektere organisk innhold i jordprøven (siden organisk materiale forbrenner mellom 500 og 550 °C), mens den andre glødningen reflekterer innhold av karbonater, som for eksempel kalsiumkarbonat (kalk).

4.3 pXRF-analyse

Instrumentet brukt var en Tracer III-SD fra Bruker. Prøvene det ble gjort grunnstoffanalyse av hadde kun blitt lufttørket, før de ble homogenisert i en morter. Ingen ytterligere prøvepreparering ble utført. Analyser av glødete jordprøver er altså ikke forsøkt ennå. Analysen ble utført med apparatet i stativ og prøvene ble lagt løst på en Prolene-film, nok til å dekke analysevinduet. Analysen ble utført med vakuumpåkoblet og med følgende innstillinger:

Tid	Energi	Strøm
90 sekund	40 kV	12,3 mA

5. Resultat og tolkning

5.1 Glødetapsanalyse

Resultat av glødetapsanalysen er oppsummert i tabell 3. Disse viser at prøvene i stor grad består av minerogent materiale, med relativt lave verdier for organisk materiale. I tillegg viser de noe variasjon i de ulike strukturene. Blant annet har det kullholdige laget 1021 noe høyere organisk innhold enn lag 1020. I dette laget var det også høyere karbonatprosent, 0,63 % mot 0,40 % i laget over. Interessant å merke seg er også at den høyeste verdien for organisk innhold finner vi i det mørkere området i mulig grav 2AR772. Her er det i tillegg en noe forhøyet karbonatprosent (i forhold til kontrollprøven). Ellers ser det ikke ut til at verdiene i den sikre graven er nevneverdig forskjellige fra kontrollprøven, og gravkammeret med bein ser sågar ut til å ha mindre organisk materiale enn kontrollprøven mens karbonatverdien er den samme. Dette kan være en indikasjon på de dårlige bevaringsforholdene på stedet: alt av

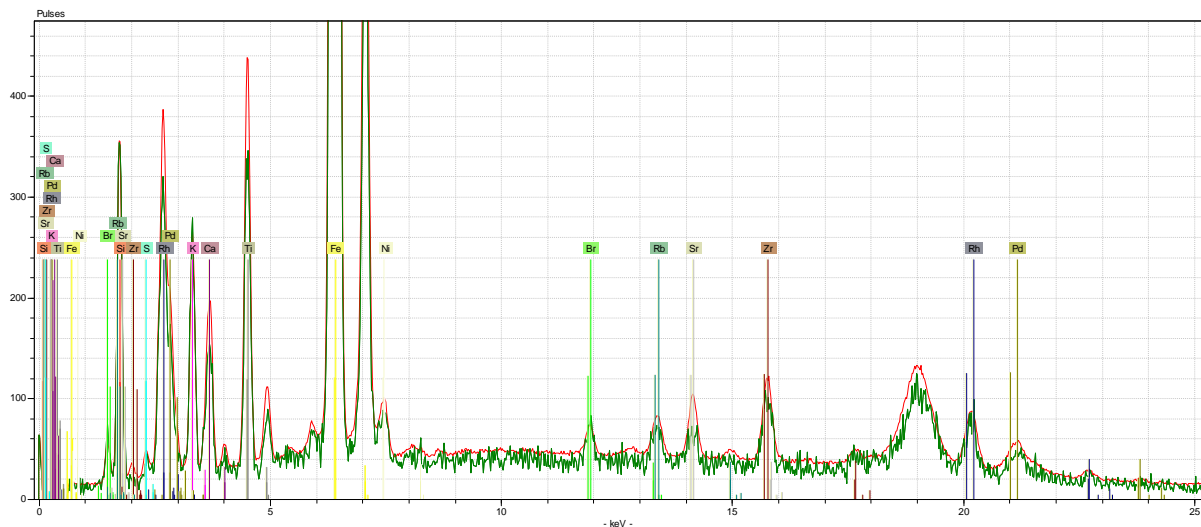
organisk materiale er nedbrutt og både organisk materiale og karbonater er effektivt blitt vasket ut av jorden.

Natvitnr	Struktur	Beskrivelse	Munsell-farge	GT ₅₅₀ % organisk	GT ₉₅₀ % karbonat
2014/12 - 33	2AR626	Mulig grav	10YR4/3	3,88	0,23
2014/12 - 48	2AR704 – 1023	Mulig grav	10YR3/2	7,45	0,26
2014/12 - 45	2AR704 – 1024	Mulig grav (med keramikk)	10YR3/3	6,67	0,35
2014/12 - 55	2AR772	Mørkere sentr. omr. i mulig grav	10YR3/2	27,04	0,58
2014/12 - 51	2AK1562- 1021	Kullholdig lag, under 1020	10YR3/2	15,79	0,63
2014/12 - 17	2AR1060	Grav, kammer uten bein	10YR3/3	11,45	0,49
2014/12 - 14	2AR1060(K4)	Grav, kammer med bein	10YR3/3	6,97	0,45
2014/12 - 20	2AK1562- 1020	Lag over 1021	10YR4/3	6,54	0,40
2014/12 - 24	Kontrollprøve	Profilvegg øst	10YR2/3	11,29	0,45

Tabell 3: Resultat av glødetapsanalyse.

5.2 pXRF-analyse

Grunnstoffundersøkelsen med pXRF ble utført på to prøver, nr 54 og 19, fra to ulike lag i samme struktur, henholdsvis lag 1020 og 1021 i struktur 2AK1562. Grunnstoffanalysen viste at prøvene fra de to lagene bestod av mer eller mindre de samme grunnstoffene, imidlertid var det noen mindre forskjeller (se figur 3). De registrerte grunnstoffene var svovel (S), kalsium (Ca), rubidium (Rb), palladium (Pd), rhodium (Rh), zirkonium (Zr), strontium (Sr), kalium (K), silisium (Si), titan (Ti), jern (Fe), nikkel (Ni) og brom (Br). De registrerte forskjellene viste at laget som var overliggende det kullholdige laget ga mindre intense topper for rhodium (Rh), kalsium (Ca), titan (Ti), nikkel (Ni), strontium (Sr) og zirkonium (Zr). Forskjellene kan ikke regnes som markante, men de er altså registrerbare.



Figur 3: Resultat av pXRF analyse av prøver nr 54 og 19, lag 1020 og 1021. Den røde og grønne kurva representerer de to prøvene, hver topp representerer ulike grunnstoff.

Som vi diskuterte ovenfor er fosfor (P) ofte registrert ved målinger gjort av jordprøver fra arkeologiske aktivitetsområder, og anrikning av fosfor er brukt som indikator for gravkontekster. Fosfor ble ikke registrert i våre analyser, men både kalsium (Ca) og jern (Fe) er til stede. Fordi fosfor (P) ofte danner stabile forbindelser med disse grunnstoffene i jorden (Fernandes, 2009:48), kan det antas at fosfor (P) ikke, eller kun i svært liten grad ble tilført under dannelsen av disse lagene. Imidlertid har både kalsium (Ca), strontium (Sr) og kalium (K) vært assosiert med aske eller ildsteder. Det faktum at de øvrige grunnstoffene har noe mer intense topper i kull-laget, kan også ha en sammenheng med brenning av trevirke, ettersom dette kan være anriktet på slike jordmetaller (Aston et al., 1998). Dette er likevel vanskelig å bekrefte eller avkrefte ut ifra de to analysene alene. I tillegg vil faktorer som moderne menneskelig aktivitet, naturlig variabilitet, samt analyseforberedelser ha innvirkning på analyseresultat og tolkning (Aston et al., 1998; Fernandes, 2009:90). Det er viktig å understreke at dette kun er en kvalitativ vurdering og at analyse av kun to prøver ikke skaper noen basis for tolkning, men det gir et første inntrykk som kan danne utgangspunkt for å gjøre beslutninger om eventuelle videre analyser. Kvantifisering og systematisk analyse av samtlige prøver vil være nødvendig for å forstå variasjonen i jordkjemi i og utenfor strukturene ved denne lokaliteten. Dette var imidlertid ikke mulig å gjennomføre innenfor budsjettammen til prosjektet, men jordprøvene er tatt vare på og kan brukes i fremtidige undersøkelser.

Fordi tradisjonell arkeologisk metode i tilfeller som Orstad begrenses (75% av strukturene kunne ikke identifiseres), er anvendelse av jordprøveanalyser ved blant annet pXRF et nødvendig supplement til den arkeologiske verktøykassa. De jordkjemiske indikatorene fra et område er spesifikke for lokaliteten, og kan ikke benyttes som indikator ved en annen lokalitet. Derfor må hver undersøkelse ta utgangspunkt i de lokale forholdene og aktuelle grunnstoffsammensetningen og –fordeling. Av den grunn er det også viktig å benytte andre variabler, som pH og glødetapsanalyser for å supplere analysen av grunnstoffsammensetningen (Abrahams et al., 2010).

Jordkjemiske analyser ved pXRF for identifisering av arkeologiske aktivitetsområder er relativt ny metodologi, og så vidt vi vet ikke tidligere brukt i forvaltningsundersøkelser i Norge. Metoden er kanskje særlig interessant i vår region grunnet de ofte dårlige bevaringsforholdene, som etterlater lite gjenstandsmateriale til å hjelpe tolkning av strukturer. Etersom AM-UiS nylig har anskaffet dette instrumentet koster anvendelsen av metoden kun tiden til operatøren. Det kreves i utgangspunktet ingen eller lite prøvepreparering og selve analysen er gjort på sekunder/minutter. Bearbeiding, tolkning og statistiske analyser av de resulterende dataene krever imidlertid noe mer, både av tid og kunnskap, men den nye kostnadseffektive teknologien gir som vi har sett her, mulighet for å utføre en første kjemisk karakterisering innen forvaltningsoppdrag. Per nå foreligger relativt få publiserte arkeologiske undersøkelser og forskningsprosjekter der pXRF er brukt, men dette vil med sannsynlighet øke i fremtiden.

6. Sammendrag og konklusjon

Glødetapsanalyse er en relativt enkel og rask metode som gir en nyttig beskrivelse av sediment og bevaringsforhold. Datasett opparbeidet ved analyse av jordprøver fra forvaltningsundersøkelsene, kan være verdifullt for fremtidige undersøkelser og forskning der man ønsker å utforske sammenhengen mellom jordkjemiske forhold og tilstand og informasjonspotensiale for arkeologiske funn og strukturer. Glødetapsresultatene kan også brukes som et startpunkt for utvelgelse av prøver for videre analyser og er i tillegg en mulig

hensiktsmessig preparering av prøver som også skal analyseres ved pXRF. Kvalitativ analyse ved pXRF er raskt og enkelt å utføre og gir et første inntrykk som er nyttig for planlegging av det videre arbeidet. Kvantitative pXRF analyser har potensiale til å hjelpe i tolkningen av ulike arkeologiske strukturer, i tillegg til å kunne gi en dypere innsikt i jord- og sedimenttyper og bevaringsforhold. De innsamlede jordprøvene fra Orstad vil være nyttige for videre fremtidige undersøkelser for bedre å forstå denne lokaliteten, men også som lokalt sammenligningsgrunnlag for andre utgravninger og forskningsprosjekt.

Litteratur

Abrahams P, Entwistle J, Dodgshon R. 2010. The Ben Lawers Historic Landscape Project: Simultaneous Multi-element Analysis of Former Settlement and Arable Soils by X-ray Fluorescence Spectrometry. *Journal of Archaeological Method and Theory* **17**: 231-248. doi: 10.1007/s10816-010-9086-8

Aston MA, Martin MH, Jackson AW. 1998. The use of heavy metal soil analysis for archaeological surveying. *Chemosphere* **37**: 465-477. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535\(98\)00062-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535(98)00062-9)

Cronyn JM. 1990. *The Elements of Archaeological Conservation*. Routledge: Londonl.

Fernandes R 2009. Study on Roman and Merovingian copper alloyed artefacts. In soil corrosion processes and recycling practices. In: Kars H (ed.) *IGBA series*. Amsterdam: The VU University. doi:

Gauss RK, Batora J, Nowaczinski E, Rassmann K, Schukraft G. 2013. The Early Bronze Age settlement of Fidvár, Vráble (Slovakia): reconstructing prehistoric settlement patterns using portable XRF. *Journal of Archaeological Science* **40**: 2942-2960. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2013.01.029>

Heiri O, Lotter A, Lemcke G. 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology* **25**: 101-110. doi: 10.1023/A:1008119611481

Hu W, Huang B, Weindorf D, Chen Y. 2014. Metals Analysis of Agricultural Soils via Portable X-ray Fluorescence Spectrometry. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **92**: 420-426. doi: 10.1007/s00128-014-1236-3

Jans MME, Kars H, Nielsen–Marsh CM, Smith CI, Nord AG, Arthur P, Earl N. 2002. In situ preservation of archaeological bone: a histological study within a multidisciplinary approach. *Archaeometry* **44**: 343-352. doi: 10.1111/1475-4754.t01-1-00067

Kars H, Kars EaK 2002. The degradation of bone as an indicator in the deterioration of the European archaeological heritage (ENV4-CT98-0712). The Final Report. . Amersfoort. doi:

Liritzis I, Zacharias N. 2011. Portable XRF of archaeological artifacts: Current research, potentials and limitations. In: *X-ray fluorescence spectrometry (XRF) in geoarchaeology*, Shackley MS (ed.) Springer: pp

Mclaren TI, Guppy CN, Tighe MK, Forster N, Grave P, Lisle LM, Bennett JW. 2012. Rapid, Nondestructive Total Elemental Analysis of Vertisol Soils using Portable X-ray Fluorescence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **76**: 1436-1445. doi: 10.2136/sssaj2011.0354

Oonk S, Slomp CP, Huisman DJ. 2009a. Geochemistry as an aid in archaeological prospection and site interpretation: current issues and research directions. *Archaeological Prospection* **16**: 35-51. doi: 10.1002/arp.344

Oonk S, Slomp CP, Huisman DJ, Vriend SP. 2009b. Geochemical and mineralogical investigation of domestic archaeological soil features at the Tiel-Passewaaij site, The Netherlands. *Journal of Geochemical Exploration* **101**: 155-165. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2008.06.004>

Parsons C, Margui Grabulosa E, Pili E, Floor GH, Roman-Ross G, Charlet L. 2013. Quantification of trace arsenic in soils by field-portable X-ray fluorescence spectrometry: considerations for sample preparation and measurement conditions. *J Hazard Mater* **262**: 1213-22. doi: 10.1016/j.jhazmat.2012.07.001

Wilson CA, Davidson DA, Cresser MS. 2005. An evaluation of multielement analysis of historic soil contamination to differentiate space use and former function in and around abandoned farms. *Holocene* **15**: 1094-1099. doi: