

کتاب

نقشه برداری مغناطیسی در باستان شناسی

بیش از ۱۰ سال استفاده از گرادایومتر GSM-19 Overhauser

مقاله ای از شرکت GEM کانادا

تاتایانا ن. اسمکالووا^۱، اولفرت ووس^۲، سرگئی ال. اسمکالوف^۳

(^۱ Tatayana N. Smekalova, ^۲ Olfert Voss, ^۳ Sergey L. Smekalov)

ترجمه اختصاصی توسط شرکت پویشگران صنعت باستان

هدف از ترجمه: آشنایی کاربران محترم با اهمیت کاوش های باستان شناسی توسط گرادایومترها، گزارشی درمورد استفاده از این تکنولوژی در کاوش های رسمی و دولتی و حساس دنیا و نحوه عملکرد آن

پویشگران صنعت باستان

تولید و عرضه کننده انواع محصولات برتر معدنیابی و فلزیابی در ایران به همراه آموزش تخصصی

در این کتاب اطلاعاتی دربارهٔ اکتشاف مغناطیسی محوطه های باستانی گردآوری شده است. ما بیشتر نمونه های خود را بر مبنای استفاده از مغناطیس سنج-شیب سنج مدل اوهاوزر مدل GEM-19WG از سیستم های GEM بنا کرده ایم. هدف شرح کامل اصول فیزیکی کار و یا روش کار مگنتومترها نبوده است، بلکه از کتاب ها و مقالاتی که خواننده می تواند اطلاعات دقیقی را در آنها بیابد، منابعی را جمع آوری کرده ایم. بیشتر بر جنبه های عمل پیمایش مغناطیسی برای بررسی آثار باستانی در شرایط مختلف جغرافیایی و زمین شناسی متمرکز شده ایم. بنابراین، تا آنجا که ممکن است نمونه های زیادی از کار صحرائی ارائه کرده ایم.

مقدمه

در ابتدا از روش‌های ژئوفیزیکی برای تعیین ویژگی‌های زمین برای مطالعه ساختارهای زمین‌شناسی استفاده شده است. اما در سال‌های اخیر برای کاوش‌های باستان‌شناسی اهمیت بیشتری پیدا کرده‌اند. از زمان استفاده آتکینسون از مقاومت الکتریکی در سال ۱۹۴۶، باستان‌شناسان به طور فزاینده‌ای روش‌های ژئوفیزیکی کلاسیک را به کار گرفته‌اند که منجر به تحقیقات موفق بسیاری از منابع فرهنگی شده است (ویموث، ۱۹۸۶). در موارد بسیاری، ابزارهای ژئوفیزیکی و روش‌های اجرا، همراه با پردازش و تفسیر داده‌های کامپیوتری، امکان مطالعه و اندازه‌گیری تضادهای زیرسطحی را با دقت و سرعت بالا فراهم کرده‌اند. کاری که از هرگونه تخریب جلوگیری می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که روش‌های ژئوفیزیکی امکان شناسایی نامخرب ویژگی‌های باستان‌شناسی مدفون را فراهم می‌کنند.

اغلب استفاده از مگنتومترهای پروتون در اوایل دهه ۱۹۵۰ را اولین کاربرد مهم روش‌های ژئوفیزیکی در تحقیقات باستان‌شناسی به حساب می‌آورند (هیمر دی ور، ۱۹۹۵، ۳). بررسی‌های مغناطیس‌سنجی یکی از موثرترین و گسترده‌ترین روش‌های ژئوفیزیکی به کاررفته در باستان‌شناسی است، زیرا بسیاری از اشیای باستانی دارای خواص مغناطیسی متمایزی هستند که ناهنجاری‌های مغناطیسی خاص ایجاد شده توسط آن‌ها، تشخیص این اشیای بر روی سطح منطقه با استفاده میسر می‌کند.



مارتین آتکین در حال استفاده از مگنتومتر پروتون نوع اول. بطری آشکارساز بر روی سه پایه در پس‌زمینه قرار گرفته است. (برگرفته از کلارک، ۱۹۹۰، ۱۷).

روش‌های پیمایش مغناطیسی

میدان مغناطیسی زمین

میدان‌های مغناطیسی در اطراف ما وجود دارند. ما نمی‌توانیم آن‌ها را ببینیم یا احساس کنیم ولی می‌توانیم آن‌ها را با استفاده از ابزارهای حساسی به نام مگنتومتر اندازه‌گیری کنیم. میدان مغناطیسی زمین تقریباً شبیه میدانی است که یک آهنربای میله‌ای بزرگ در نزدیکی مرکز زمین ایجاد می‌کند. آهنربایی که جهت مثبت آن به سمت قطب شمال است و محور چرخش آن ۱۰ درجه لمیدگی دارد. این میدان یا خطوط شار زمین الگوی متعارفی مشابه با هر آهنربای کوچک دیگر نشان می‌دهند. این خطوط شار در نزدیکی قطب‌ها قائم هستند و در نزدیک استوا افقی قرار می‌گیرند (برینر، ۱۹۷۳).

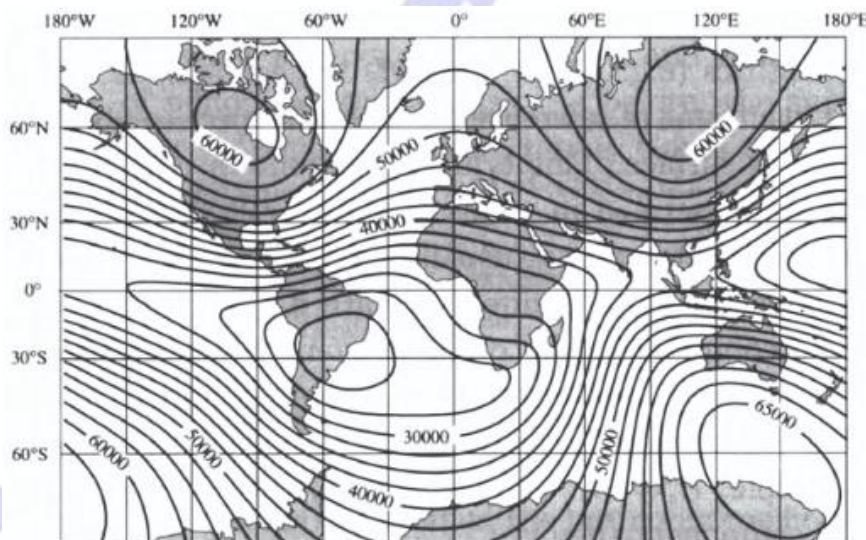
در شرایط مساعد کاوش مغناطیسی مؤثرترین، سریع‌ترین و به‌طور مشخص غیرمخرب‌ترین روش برای شناسایی مکان‌های باستانی است. اطلاعاتی که می‌توان با استفاده از کاوش مغناطیسی به دست آورد بسیار نزدیک به داده‌هایی است که از حفاری‌های باستان‌شناسی واقعی حاصل می‌شود.

آهن ۶ درصد پوسته زمین را تشکیل می‌دهد. بخش اعظم آهن موجود در پوسته زمین از طریق خاک، رس و سنگ به‌صورت ترکیبات شیمیایی با قدرت مغناطیسی بسیار ضعیف پراکنده می‌شود. فعالیت‌های انسان در گذشته (مخصوصاً استفاده از آتش برای گرم کردن، پخت‌وپز، تولید و صنعت) این ترکیبات را به‌صورت شکل‌های مغناطیسی فراوان‌تری درآورده است که این شکل‌های جدید الگوهای خاصی از ناهنجاری‌ها را در میدان مغناطیسی زمین ایجاد می‌کنند که با ابزارهای حساس یعنی مغناطیس‌سنج‌ها می‌توان آن‌ها را شناسایی کرد.

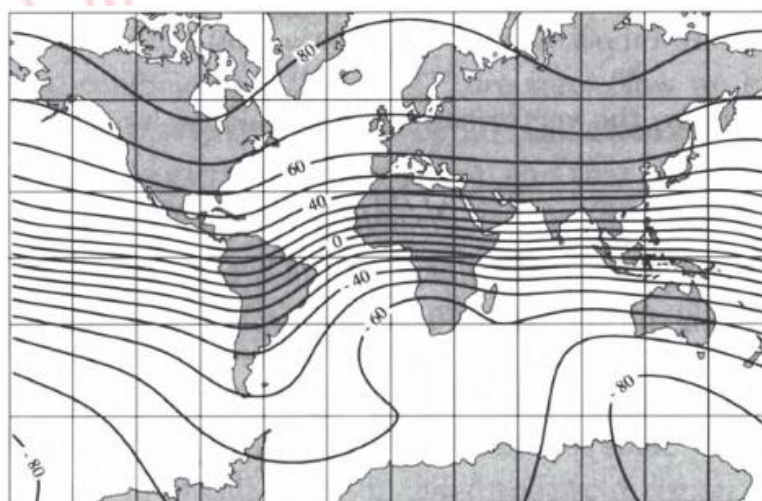
روش پیمایش مغناطیسی تکنیک ژئوفیزیک غیرفعال است که مبنای آن تشخیص تضادهای موجود در خواص مغناطیسی مواد مختلف است. در حالی که چنین تضادهایی وجود نداشته باشد، کاوش مغناطیسی مفید نخواهد بود. برای انجام کاوش مغناطیسی، میدان مغناطیسی زمین را به‌سادگی با فواصل اندازه‌گیری کم و بسیار نزدیک به سطح اندازه‌گیری می‌کنیم.

شدت میدان مغناطیسی زمین در ناحیه قطب (تقریباً ۷۰۰۰۰ نانوتسلا) سه‌برابر بیشتر از شدت میدان در ناحیه استوایی

است (۲۵۰۰۰ نانوتسلا). در جاهای دیگر روی زمین، پارامترهای میدان مغناطیسی جهانی بین این دو مقدار قرار دارند. برای مثال، میل میدان مغناطیسی و شدت میدان مغناطیسی کل در دانمارک به ترتیب ۶۹ درجه و ۴۸۰۰۰ نانوتسلا است. برای تعیین تاریخ باستان‌شناسی مغناطیسی دانستن منحنی اصلی تغییرات دوره‌ای انحراف و تمایل میدان مغناطیسی زمین بسیار مهم است. این منحن برای بریتانیا (کلارک، تارلینگ، نوئل، ۸)، ایتالیا، بلغارستان (کواچوا، ۱۹۶۹)، بوکان (کواچوا، ویوویچ، ۱۹۷۷)، روسیه (۱۹۶۵)، جنوب غربی و شمال آمریکا (واتانابه، دو۹۶، بیس، ۱۹۶۵)، آرکانزاس (ولف من ۱۹۷۹) و اوکراین (پی‌کاکوب ۱۹۸۲) شناخته شده است. آبراهامسن (آبراهامسن منحنی بریتانیا را برای موقعیت دانمارک تغییر شکل داده است).



شدت کل میدان مغناطیسی زمین

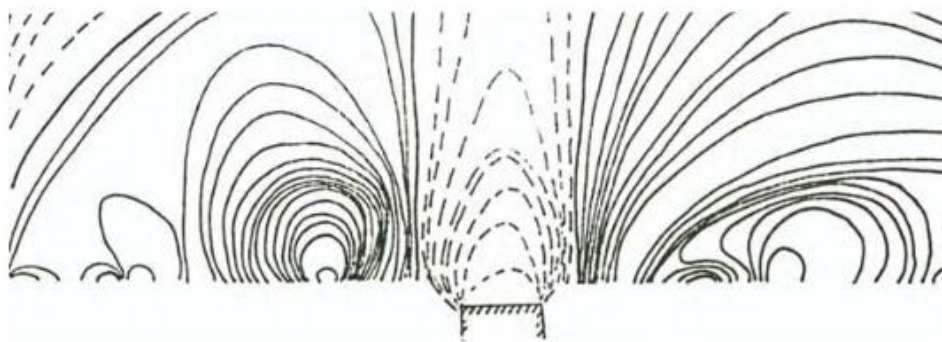


میل مغناطیسی زمین که به صورت درجه نسبت به سطح افق بیان شده است.

ناهنجاری های مغناطیسی

اگر زمین از مواد یکنواخت تشکیل شده بود، خطوط مغناطیسی نیرو به صورت یکنواخت بین قطبها توزیع می شد. در هر منطقه کوچک، خطوط میدان مغناطیسی موازی خواهند بود. اما چون مواد مختلف به دلیل ترکیبشان دارای حساسیت مغناطیسی متفاوتی هستند، در خطوط نیروی مغناطیسی زمین اعوجاج ایجاد می شود. به اختلالهای موضعی میدان مغناطیسی جهانی ناهنجاری های مغناطیسی می گویند (برینر، ۱۹۷۳).

ناهنجاری های حاصل از اشیای باستانی یا ناهنجاری های طبیعی موجود در سنگها و کانیها عمدتاً حاصل از وجود مقدار قابل ملاحظه ای از کانی های مغناطیسی رایج مانند مگنتیت، FeO ، Fe_2O_3 یا کانی های مرتبط با آن است. تمامی سنگها مقداری مگنتیت دارند که مقدار آن از کسرهای بسیار کوچک تا چند درصد تغییر می کند.

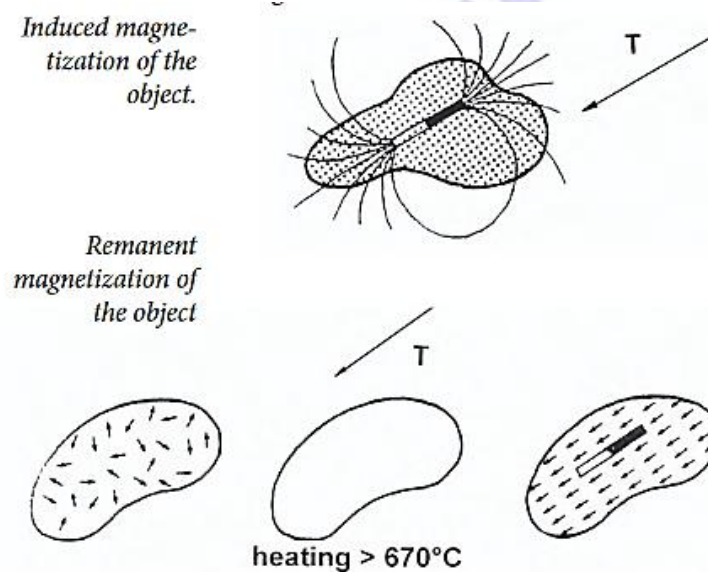


پراکندگی قائم خطوط جریان میدان مغناطیسی در شهرک هلنیستی ژنرال سکوی، کریمه.

Magnetic Susceptibility, SI	Percent of Magnetite by Volume								
	0,00001	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10	100	
Metallic Iron								IRON	
Magnetic Minerals			HEMATITE	IRON SLAG	MAGNETITE				
Igneous Rocks				BASALT					
				FIRED CLAY					
				GRANITE					
				HEATED SOILS					
				GABBRO					
				DIORITE					
Metamorphic Rocks				QUARSITE					
				SANDSTONE					
				TOPSOILS					
				SUBSOILS					
				MARBLE					
Segmentary Rocks				CHALK					
				LIMESTONE					
				SAND					

روش‌های پیمایش مغناطیسی

ناهنجاری‌های مغناطیسی درون میدان مغناطیسی یا توسط مغناطیس القایی یا توسط مغناطیس بازماند ایجاد می‌شوند. مغناطیس القایی به‌سادگی نشان می‌دهد که چیزی درون میدان مغناطیسی زمین به‌وسیله عملکرد میدان مغناطیسی زمین مغناطیسی شده است.



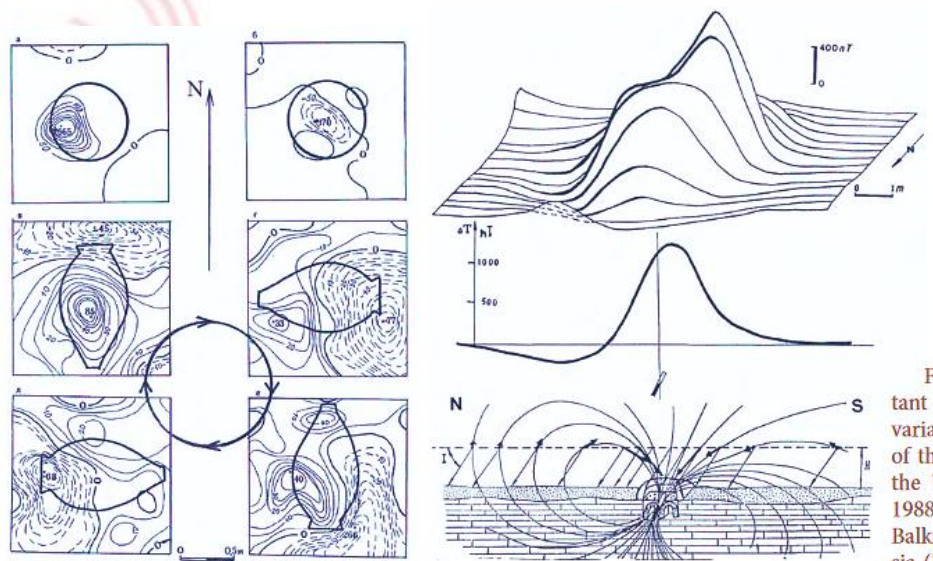
مغناطیس بازماند به این معنی مغناطیسی است که یک شیء در غیاب میدان مغناطیسی زمین دارد. در خلال گرم شدن، به‌ویژه در دماهای بالا، منطقه‌های کوچکی که آن‌ها را دامنه می‌نامیم جهت‌گیری خود را تغییر می‌دهند. این نواحی با سرد شدن تمایل پیدا می‌کنند کم‌وبیش در جهت میدان مغناطیسی کنونی زمین متمایل شوند و در نتیجه موازی با یکدیگر قرار می‌گیرند و مغناطیس خالصی ایجاد می‌کنند که با نسبت به شیء ثابت است (هیمنر، دی‌ور، ۱۹۹۵، ص ۱۲).

هر دو مدل مغناطیس در باستان‌شناسی اهمیت دارند. مغناطیس القایی با شدت میدان محیطی و توانایی ماده برای ارتقای میدان محلی یعنی خاصیتی به نام حساسیت مغناطیسی χ (یا K) ارتباط مستقیم دارد. حساسیت مغناطیسی سهولت مغناطیسی شدن هر ماده به‌وسیله میدان مغناطیسی زمین را نشان می‌دهد (هیمنر، دی‌ور، ۱۹۹۵، ص ۱۲). تغییرات حساسیت‌پذیری مغناطیسی بین خاک سطحی، خاک‌زیرین و سنگ‌ها (خاک سطحی معمولاً مغناطیسی‌تر از

خاک زیرین است) به صورت موضعی بر روی میدان زمین اثر میگذارد و تشخیص حفره‌ها، گودال‌ها و سایر ویژگی‌های سیلوهایی را که در زمان‌های قدیم حفاری شده‌اند و سپس با گل یا خاک سطحی پر شده است را ممکن می‌سازد. این مناطق سیگنال مغناطیسی مثبت تولید خواهند کرد. برعکس، مواد با مغناطیس کمتر موجود در خاک سطحی، از جمله بسیاری از وسایل سنگ‌تراشی مانند دیوارهای آهکی را می‌توان با اثر کاهش میدان مغناطیسی که به صورت سیگنال منفی دیده می‌شود، تشخیص داد.

مغناطش بازماند مرتبط با تأثیر گرمایش است، خواه این گرمایش مانند گرمایش حاصل از سنگ‌های آذرین منشأ طبیعی داشته باشد، خواه مانند گرمایش موجود خشت پخته‌شده، سفال و سایر اشیای ساخته دست انسان که در مکان‌های باستان‌شناسی پیدا می‌شوند، به طور مصنوعی ایجاد شده باشد. این مغناطش بازمانده می‌تواند ده‌برابر یا حتی بیشتر از این مقدار بزرگتر از مغناطیس القایی بیشتر باشد.

اشیاء باستانی مانند اجاق‌ها، کوره‌ها، بلوک‌های سرباره و آتش‌گاه‌ها دارای خاصیت مغناطیسی به نسبت قوی هستند. اگر این اشیا هنوز در محل باشند، می‌توان با اندازه‌گیری جهت میدان مغناطیسی آن‌ها یا با بررسی ناهنجاری‌های مغناطیسی آن‌ها تاریخ این اشیا را مشخص کرد. مغناطیس حرارتی زمانی که خاک رس در حال سرد شدن است ایجاد می‌شود و پس از سرد شدن خاک رس دست‌نخورده باقی می‌ماند. شکل سمت راست، مغناطیسی حرارتی یک ظرف سفالی بزرگ در واقع پیتوسی قرون وسطایی از منطقه کریمه را نشان می‌دهد.



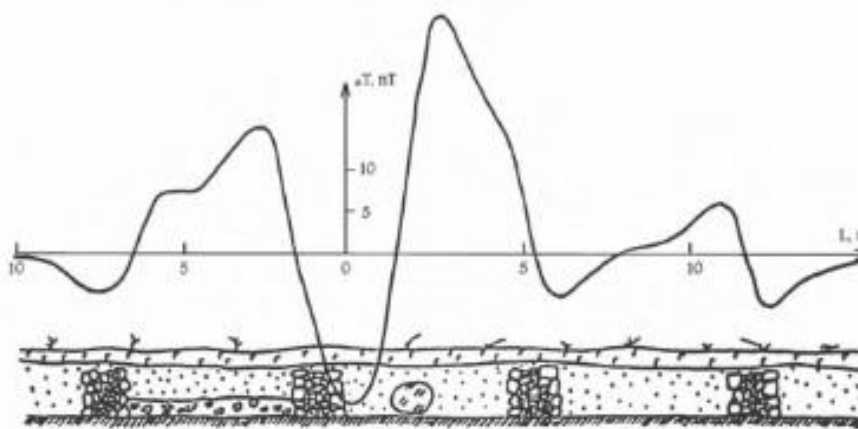
نمایی از ایجاد ناهنجاری میدان مغناطیسی بر فراز یک کوره.

میدان مغناطیسی اندازه گیری شده بر روی یک پیتوس بزرگ قرون وسطایی با چرخش های متفاوت از پیتوس: چپ بالا - بر روی دهان. راست پایین - در پایین. چهار نقشه پایین - از کنار.

برای تعیین تاریخ باستانشناسی شناسایی منحنی اصلی تغییرات دوره ای انحراف و میل میدان مغناطیسی زمین اهمیت دارد. این منحنی برای بریتانیا (کلارک، تارلینگ، نوئل، ۸)، ایتالیا، بلغارستان (کوواچوا، ۱۹۶۹)، بالکان (کوواچوا، ویویچ، ۱۹۷۷)، روسیه (بورلاتسکایا، ۱۹۶۵)، جنوب غربی و شمال آمریکا (واتانابه، دوبویس ۱۹۶۵)، آرکانزاس (ولف من ۱۹۷۹) و اوکراین (زاگنی، روساکوف ۱۹۸۲) شناسایی شده است. آبراهامسن (آبراهامسن ۱۹۹۶) منحنی بریتانیا را برای موقعیت دانمارک تغییر شکل داده است.

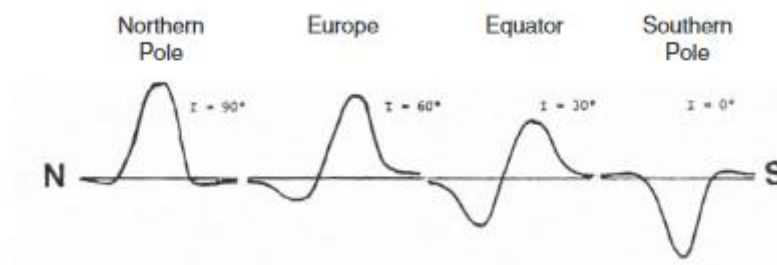
بنابراین ناهنجاری های مثبت و منفی در ساختاری باستانشناسی متفاوت می تواند الگوهای پیچیده ای ایجاد کند که سرشار از اطلاعات هستند.

با استفاده از ابزارهای حساس میدان مغناطیسی زمین را می توان با دقت بسیار زیادی در حد یک نانوتسلا یا یک دهم نانوتسلا اندازه گیری کرد. در شما اروپا میدان مغناطیسی زمین تقریباً ۵۰۰۰۰ نانوتسلا است. سازه های خاکی باستان شناسی معمولاً ناهنجاری های مغناطیسی محلی در محدوده ۱-۲۰ نانوتسلا نشان می دهند. سازه های آتش سوزی کمیاب تر ناهنجاری مغناطیسی ۱۰-۱۰۰۰ نانوتسلا را نشان می دهند. اشیاء باستان شناسی آهنی بسیار کمیاب مانند بلوک های سرباره ذوب آهن ناهنجاری ۲۰-۲۰۰۰ نانوتسلا دارند.

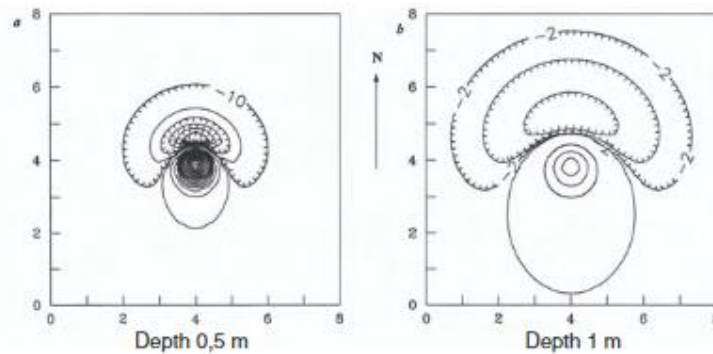


ناهنجاری های مغناطیسی معمول اجزای باستان شناسی رایج.

به طور خلاصه، شناسایی برخی از ویژگی‌های ناهنجاری‌های محلی از اشیای باستان‌شناسی مغناطیس اهمیت دارد. ماهیت نامتقارن ناهنجاری‌های میدان مغناطیس زمین در درجه اول حاصل از جهت‌گیری معمولاً مایل میدان مغناطیسی زمین است. این ناهنجاری در دوقطبی مشابه شکل متفاوتی در مناطق مختلف در زمین دارد: در نزدیکی قطب‌ها، در عرض جغرافیایی میانی و در استوا (به تصویر بالایی در زیر نگاه کنید). خصوصیات مؤثر دیگر ناهنجاری میدان مغناطیسی تغییر آن با فاصله بین مگنتومترها و منبع است: همانطور که در تصویر پایین‌تر آمده است، هر چقدر منبع عمق بیشتری داشته باشد، ناهنجاری گسترده‌تر خواهد بود.



شکل‌های متفاوت یک ناهنجاری دوقطبی در مناطق مختلف زمین.



وابستگی به عمق.

روش میدانی نقشه‌برداری مغناطیسی

در مرحله اولیه هر تحقیق، فرآیندی که آن را جستجوی آزاد می‌نامیم برای تعیین مرزهای مکان و مکان‌یابی اشیای مغناطیسی منفرد انجام می‌شود. در این مرحله اپراتور میدان مغناطیسی را با کمک مغناطیس‌سنج پروتون یا مگنتومتر اورهاسر بدون استفاده از شبکه معمولی اندازه‌گیری می‌کند. در عوض، اپراتور هنگام اندازه‌گیری در فواصل یک تا یک‌ونیم متری می‌چرخد و ناهنجاری‌ها را با پرچم‌های کوچکی که گاهی اوقات ممکن است اجسام مغناطیسی باشند،

علامت گذاری می کند. ویژگی روش جستجوی آزاد سرعت بالای آن است (معمولاً ۳-۴ هکتار را در روز پوشش داده می شود).

روش پیمایش مغناطیسی دقیق مکان های باستان شناسی، روشی است که میدان مغناطیسی زمین را نقطه به نقطه با یک گام کوچک (قدم ها بیشتر از نیم متر نیست) نزدیک به سطح اندازه گیری می کند. اندازه گیری ها روی نقشه مغناطیسی ثبت می شوند.

یک سیستم مختصات در آن مکان برای جمع آوری داده ها در نظر گرفته می شود. معمولاً اگر هیچ مانعی وجود نداشته باشد، این قطعات ۴۰ متر (یا ۲۰ متر) عرض دارند و تا جایی که برای پوشاندن مساحت آن قسمت های مکان لازم است، امتداد پیدا می کنند. دو نوار اندازه گیری پلاستیکی در دو طرف شبکه و رشته های ۴۰ متری با علامت های متر کشیده شده بین علائم متر روی نوارها قرار می گیرد. همچنین می توان از چوب های کوچک چوبی در طرف مقابل شبکه استفاده کرد.

ابزار اصلی بررسی ما یک مغناطیس سنج اورهاسر GSM-19WG ۴ است. اندازه گیری ها در امتداد خطوط مستقیم و موازی (رشته هایی با علائم متر) انجام می شود. فاصله بین خطوط ۰.۵ متر است. مغناطیس سنج به اصطلاح در حالت (راه رفتن) کار می کند که هر ۰.۲ ثانیه اندازه گیری می شود و بنابراین فاصله بین اندازه گیری ها در امتداد خطوط بیشتر از ۰.۲-۰.۳ متر نیست. ارتفاع سنسور نقشه برداری از سطح زمین معمولاً حدود ۰.۲-۰.۴ متر است.

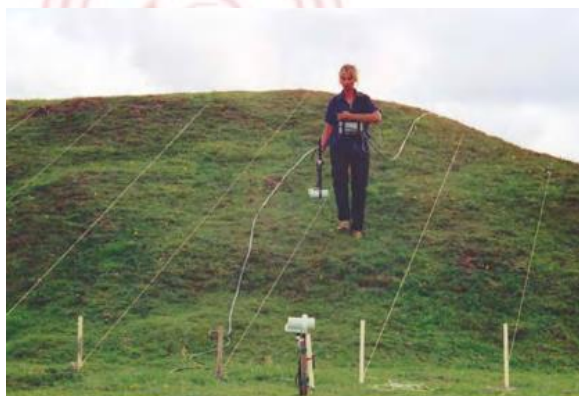
اگر مکان باستان شناسی بزرگ باشد، لازم است به طور مداوم تغییرات بر روزانه میدان مغناطیسی زمین نظارت شود. آهن سنج دوم از همان نوع (GEM Systems) برای نظارت بر تغییرات زمانی میدان مغناطیسی استفاده می شود. سنسور آن در یک نقطه پایه (مرجع) در منطقه ای از یک میدان مغناطیسی کم و بیش (عادی) نصب شده است، در حالی که مغناطیس سنج دیگر (کار) در اطراف مکان حرکت می کند. با استفاده از برنامه های کامپیوتری ویژه، سیگنال های هر دو حسگر برای حذف تغییرات روزانه (زمانی) میدان مغناطیسی زمین استفاده می شود. قبل از سال ۲۰۰۵ ما از یک کابل ۵۰ متری برای اتصال دو حسگر یک گرادئومتر استفاده می کردیم و سپس تغییرات روزانه میدان مغناطیسی زمین را کم می کردیم.

داده‌ها در حافظه مغناطیس سنج ذخیره می‌شوند. پس از بررسی داده‌ها به کامپیوتری قابل حمل منتقل می‌شوند. ارائه‌های مختلف داده‌های مغناطیسی را می‌توان با کمک نرم افزار Surfer (طلایی، کلرادو) تهیه کرد: مفیدترین آن‌ها نقشه‌های خطوط تراز رنگی و نقشه‌هایی در مقیاس تناژ خاکستری هستند. روی نقشه‌ها ناهنجاری‌های مثبت با رنگ آبی و ناهنجاری‌های منفی با رنگ قرمز مشخص شده‌اند. در نقشه‌های با مقیاس رنگی خاکستری، ناهنجاری‌های مثبت با رنگ تیره و ناهنجاری‌های منفی با رنگ روشن مشخص می‌شوند. فاصله خطوط تراز می‌تواند ۲، ۵ نانو تسلا یا بیشتر باشد.

مراحل پیمایش مغناطیسی



پیمایش با روش جستجوی آزاد، هالستد، یوتلند مرکزی، دانمارک



بررسی اولیه داده‌ها در منطقه گودسوانگ، جنوب غربی یونلند



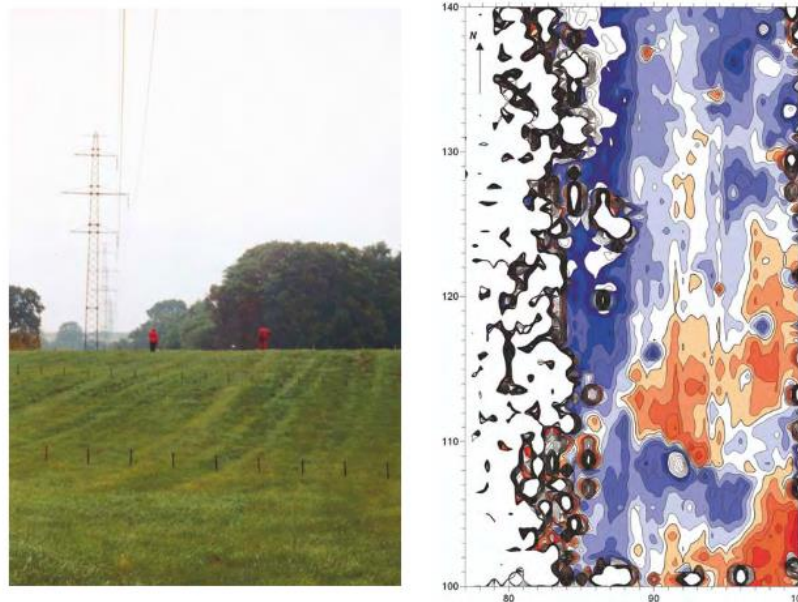
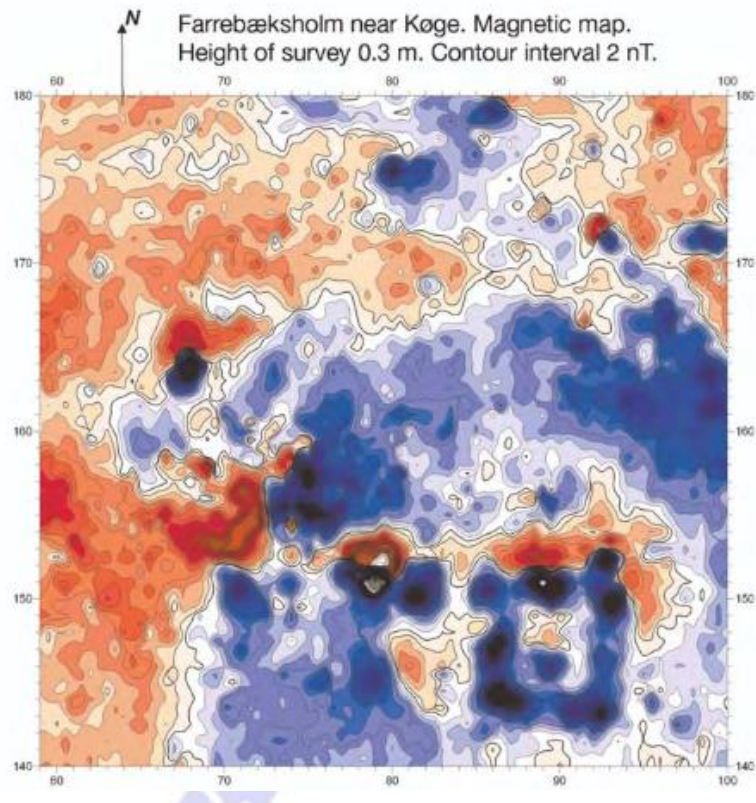
اندازه‌گیری دقیق با استفاده از شبکه. معدن‌های سنگ چخماق نوستگی در هوتی



جمع‌آوری نقشه‌های منطقه‌های بزرگ ذوب آهن در جنوب غربی یوتلند



بررسی ناهنجاری‌های مغناطیسی با حفاری. معدن‌های سنگ چخماق نوستگی در هوتی.

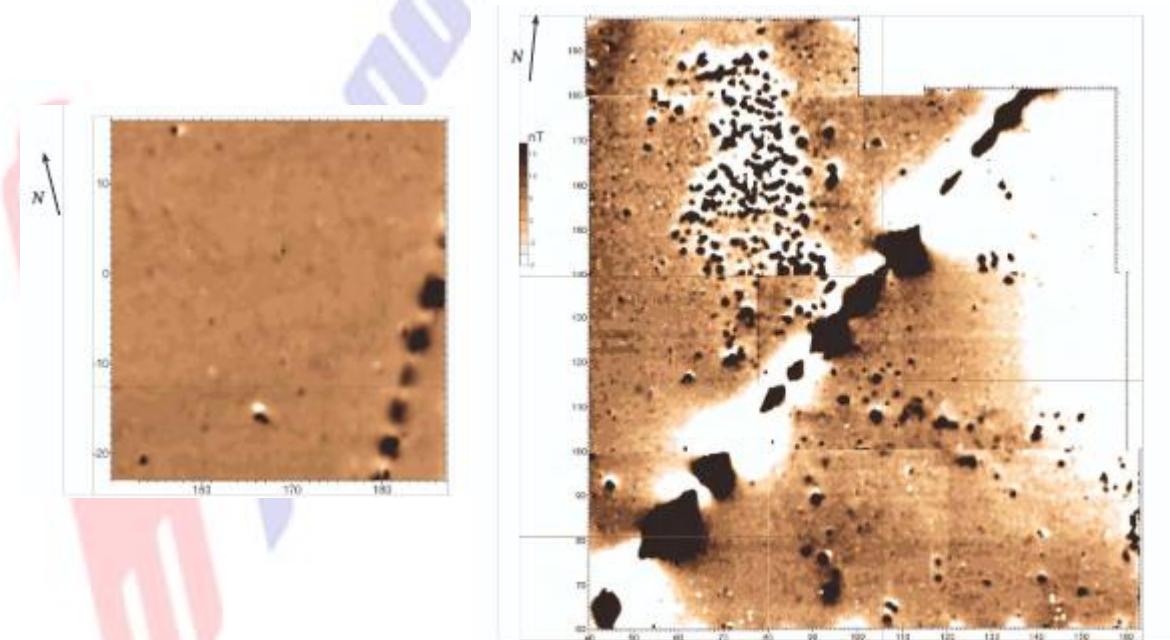


پیمایش مغناطیسی در یک سایت در شمال غربی Ejzby، جنوب Køge، دانمارک. پایین، سمت چپ: منطقه پیمایش مغناطیسی در شرق تپه قلعه بود. در زیر، سمت راست: نقشه مغناطیسی نزدیک خط برق و زیر آن. قرائت‌ها در زیر سیم‌های برق کاملاً نادرست است. تصویر بالا: نقشه مغناطیسی سایت که پس از قطع جریان الکتریکی اندازه‌گیری شد. خطوط یک ساختمان بسیار واضح است.

محدودیت‌ها

از آنجایی که روش مغناطیس همانند سایر روش‌های ژئوفیزیکی ماهیت غیرمستقیم دارد، ژئوفیزیکدانان می‌توانند داده‌ها را به صورت ناهنجاری‌ها تفسیر کنند. عوامل ایجاد هر ناهنجاری را می‌توان پیشنهاد کرد یا حدس زد. با این وجود تنها کاوش است که می‌تواند منبع هر ناهنجاری را تأیید کند.

تمامی روش‌های ژئوفیزیکی در معرض نویز هستند. نویز چیزی بیشتر از سیگنال اشتباه در اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیکی نیست. این سیگنال‌های اشتباه ممکن است توسط اجزای فرهنگی ایجاد شده باشند: ساختمان‌ها، فنس‌ها، خطوط انرژی برق، اشیای فلزی جدید کوچک بر روی سطح منطقه، لوله‌های آب و اجزای طبیعی مانند سنگ بسیتر مغناطیسی (گرانیت و امثال آن)، طوفان‌های خورشیدی و رعدوبرق. منبع‌های نویزها را می‌بایست قبل از هر کار میدانی مغناطیسی شناسایی کرد. به همین دلیل است که پیمایش‌های ژئوفیزیکی را می‌توان برای حذف این نویزها برنامه‌ریزی کرد (برینر ۱۹۷۳).



سایت ذوب آهن Yderik در جنوب غربی یوتلند. بالا: ناهنجاری مغناطیسی به پایان رسیده است. یک کابل برق زیرزمینی در زیر: نقشه مغناطیسی روی یک خط لوله گاز و یک خوشه بزرگ از بلوک‌های سرباره

الگوی خاصی از ناهنجاری‌های میدان مغناطیسی زمین در مکان باستان‌شناسی که با دستگاه‌های حساس یعنی مگنتومترها قابل شناسایی هستند. ما برای اکتشاف‌های باستان‌شناسی خود از این وسایل استفاده کرده‌ایم:

- دو مگنتومتر اورهاسر GSM-19WG از سیستم GEM (کانادا، انتارلو) به عنوان دستگاه‌های اصلی.
- مگنتومترهای کازيوم MM-60، M-33 و PKM-1 (روسیه، اس تی پترزبرگ، جئولوگورازدوکا)
- یک مگنتومتر پروتون MMP-203 (روسیه، اس تی پترزبرگ، جئولوگورازدوکا)



از راست به چپ: بروس دبلیو بیوان با MMP-60، اولفرت ووس، تاتیانا اسمکالووا با GSM-19WG و

M-33 در مکان ذوب آهن سناپ در جنوب غربی یوتلند ۱۹۹۶.

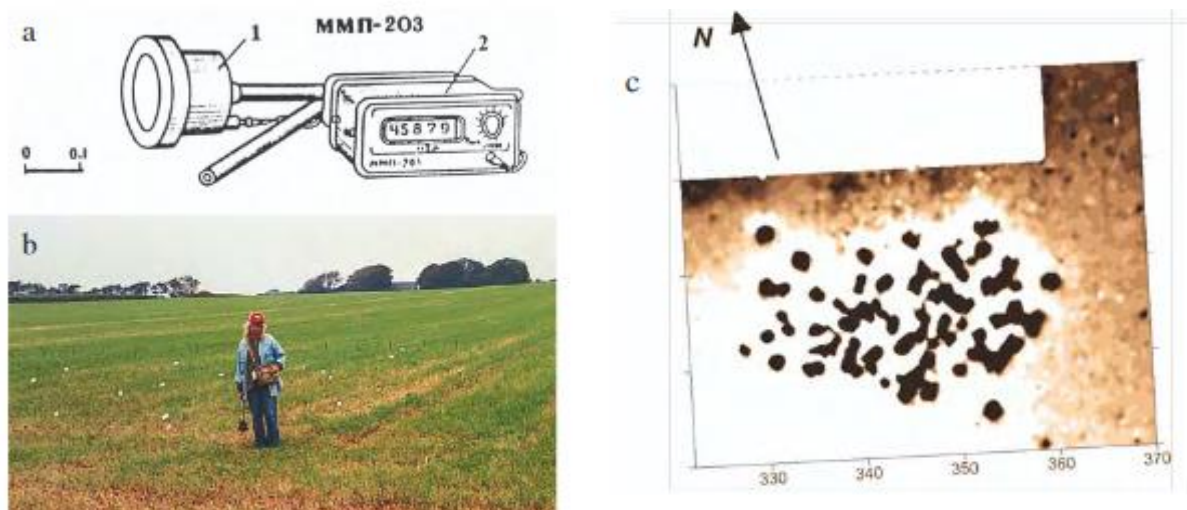
مغناطیس‌سنج تقدیمی پروتون یکی از رایج‌ترین انواع مغناطیس‌سنج‌های قابل حمل است که امروزه برای اهداف باستان‌شناسی استفاده می‌شود. این نام به این دلیل است که از حرکت تقدیمی پروتون‌های در حال چرخش یا هسته‌های اتم هیدروژن در نمونه ای از مایع هیدروکربنی (آب، نفت سفید، الکل و غیره) برای اندازه‌گیری شدت کل میدان مغناطیسی استفاده می‌کند. پروتون‌های در حال چرخش که مانند دوقطبی‌های مغناطیسی کوچک رفتار می‌کنند با اعمال یک میدان مغناطیسی قوی توسط یک جریان در سیم‌پیچ به‌طور موقت قطبی می‌شوند. وقتی جریان حذف می‌شود، چرخش پروتون‌ها باعث می‌شود که آن‌ها در جهت حرکت میدان مغناطیسی زمین پیشروی کنند. پروتون‌های پیشرو سیگنال کوچکی را در همان سیم پیچی که برای قطبی کردن آن‌ها استفاده می‌شود، تولید می‌کنند که فرکانس آن‌ها دقیقاً متناسب با شدت کل میدان مغناطیسی زمین است که می‌توان آن را با دقت ۱ نانوتسلا اندازه‌گیری کرد.

اصلی که بر آن استوار است آنقدر ظریف و ساده است که اهمیت خود را چندین دهه پس از توسعه روش‌های دیگر حفظ می‌کند (اسکولار و همکاران، ۱۹۹۰). مغناطیس‌سنج‌های پروتونی دو عیب جدی دارند. اول، در جایی که شیب مغناطیسی به ۳۰۰-۱۰۰۰ نانوتسلا بر متر می‌رسد مشاهدات اشتباهی رخ دهد. همچنین این مغناطیس‌سنج‌ها به دلیل زمان اندازه‌گیری محدودشان، تقریباً سه ثانیه، بسیار کند هستند.

بنابراین، در چند سال اخیر، مغناطیس‌سنج‌های جدید و بسیار سریع‌تر تا حد زیادی جایگزین ابزارهای پروتون به وسیله شده‌اند. ما بیشتر از مغناطیس‌سنج پروتون MMP-203 برای پیمایش مقدماتی در مرحله جستجوی آزاد در هر منطقه استفاده می‌کنیم.



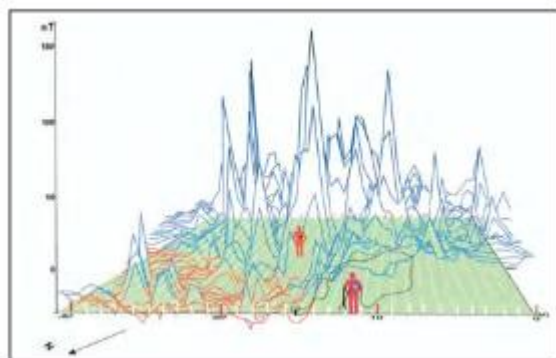
شیب‌سنج پروتون G-856AG از شرکت جنومتریک، کالیفرنیا، ایالات متحده.



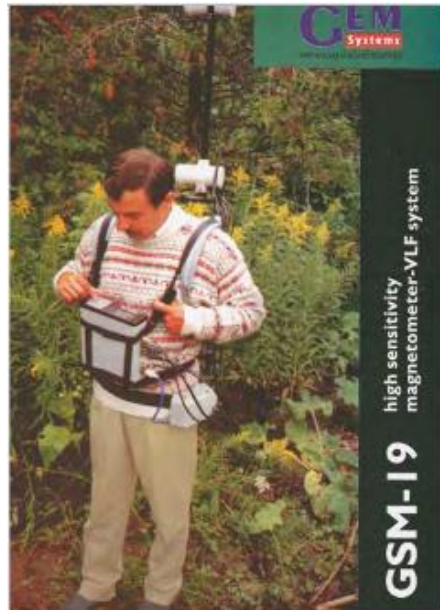
a - مغناطیس‌سنج پروتونی MMP-203، روسیه، حساسیت ۱ نانوتسلا؛ زمان چرخه ۳ ثانیه. b - روش جستجوی آزاد با کمک یک مغناطیس‌سنج پروتون MMP-203. مکان ذوب آهن گودسوانگ در جنوب غربی یوتلند، دانمارک. ناهنجاری‌های بلوک‌های سرباره باستانی با پرچم‌های سفید مشخص شده‌اند. ج - جزئیات نقشه مغناطیسی که بعداً در این نمودار با کمک گراد یومتر اورهاسر GSM-19WG بدست آمده است. نقاط تیره ناهنجاری‌های مثبت قوی در بلوک‌های سرباره هستند. اعداد روی نقشه بر حسب متر هستند.

مغناطیس سنج اورهاسر نوعی مغناطیس سنج تقدمی پروتونی است. در مغناطیس سنج پروتون، قطبش با اعمال مختصر یک میدان قوی ایجاد می شود. مغناطیس سنج اورهاسر از رادیکال های آزاد حل شده در مایع استفاده می کند تا حساسیت ظاهری آن را با پمپاژ با فرکانس رادیویی افزایش دهد. یک جفت دوقطبی بین چرخش های پروتون مایع و چرخش های الکترون یک رادیکال آزاد حل شده در آن وجود دارد. به دلیل افزایش بسیار زیاد پلاریزاسیون (تا ضریب ۴۰۰۰ یا ۵۰۰۰)، می توان از مقادیر بسیار کمی سیال استفاده کرد که باعث می شود سنسورها بسیار کوچک و بنابراین در برابر گرادیان ها نیز بسیار مقاوم باشند. حساسیت های مرتبه ۰.۰۱ نانوتسلا به راحتی در عمل به دست می آیند. (اسکولار و همکاران، ۱۹۹۰)

ابزار اصلی که ما برای کاوش های باستان شناسی استفاده می کنیم یک گرادایومتر اورهاسر GSM-19 از شرکت جم سیستم (انتاریو، کانادا) است. اندازه گیری میدان های مغناطیسی با سرعت ۵ خواندن در ثانیه با ظرفیت ذخیره سازی حدود ۳۲ مگابایت ممکن است. حساسیت از ۰.۰۲ نانوتسلا تا ۰.۱۵ نانوتسلا/هرتس با تحمل گرادیان ۱۰۰۰۰ نانوتسلا/متر است. فاصله بین دو سنسور در چنین گرادایومتر را می توان تغییر داد و ارتفاع سنسور را می توان در هر مقداری تنظیم کرد. هر سنسور ممکن است به عنوان ایستگاهی پایه برای ارائه اصلاحی برای تغییر زمانی میدان زمین استفاده شود و می توان آن را با یک کابل بلند به کنسول متصل کرد (ما یک کابل ۵۰ متری داریم).



گلاربورگ، نیویورک، دانمارک ۲۰۰۱. بالا: طرح بررسی مغناطیسی با یک گرادایومتر GSM-19 (یک سنسور در نقطه پایه برای کنترل تغییرات زمانی قرار گرفته است که با یک کابل ۵۰ متری به کنسول متصل می شود). نمودارهای میدان مغناطیسی اندازه گیری شده نشان داده شده است. عکس پایین: پیمایش مغناطیسی در محل اجرا. یک اپراتور در حال جمع آوری داده های مغناطیسی و سنسور دیگر در حال اندازه گیری مختصات GPS طرح است،



GSM-19WG برای پیمایش شیب میدان مغناطیسی (حالت عمودی نشان داده شده).



پیمایش مغناطیسی بر روی پشته‌ای در نیوزیلند، دانمارک.



با GSM-19 همگام سازی مغناطیس سنج ایستگاه پایه، سنسور و کنسول مغناطیس سنج مرجع برای محافظت در برابر تغییرات دما در یک روکش فویلی ویژه قرار گرفته‌اند.



با سنسور مغناطیسی GSM-19 کنسول و صفحه نمایش گرافیکی استاندارد.

مغناطیس سنج‌ها

مغناطیس سنج‌های سزیمی از ابزارهای بسیار حساس با قدرت تفکیک حدود ۰.۰۱ نانوتسلا هستند.

مبنای عملکرد مغناطیس سنج‌های سزیمی پیچیده‌تر از مغناطیس سنج پروتون است. آن‌ها به جای عمل در سطح هسته در سطح اتم عمل می‌کنند. برای پلاریزاسیون از لامپ استفاده می‌شود. هنگامی که نور تک‌رنگ از یک میدان مغناطیسی در ماده‌ای مناسب عبور می‌کند، بین چرخش‌های بین‌های ماده و خواص الکترومغناطیسی نور برهمکنش ایجاد می‌شود. در ابزارهای جدید از سزیم ۱۳۳ استفاده می‌شود.

این سنسور یک سلول شیشه ای حاوی سزیم فلزی است. کمی حرارت داده می شود تا مواد تبخیر شوند. نور پمپاژ قطبی دایره ای، الکترون های اتم های سزیم را به حالت پرنرژی برمی انگیزاند. الکترون ها به سرعت به سطح انرژی اولیه خود برمی گردند، اما به طور مداوم دوباره برانگیخته می شوند. بردارهای مغناطیسی اتم ها در اطراف میدان خارجی قرار می گیرند و گشتاورهای آن ها از سیم پیچ اطراف یک سلول شیشه ای به یکی از اجزای دوار میدان قفل می شوند. این چرخش ها را کاهش پیدا می کنند و شفافیت سلول را افزایش می دهد، با حداکثر در رزونانس، که در فرکانسی متناسب با شدت میدان مغناطیسی کل رخ می دهد (اسکولار و همکاران، ۱۹۹۰). حساسیت مغناطیس سنج های سزیمی از فرکانس های فشردگی بالای آن ها ناشی می شود که برای ثبت سیگنال های کوچک مهم است. یکی دیگر از مزایای مغناطیس سنج سزیمی - تحمل گرادیان بالا است که آن را در اندازه گیری اشیاء باستان شناسی به شدت مغناطیسی شده در عمق بسیار کم مفید می کند.



مغناطیس سنج سزیم جنوگراژودکا، سنت پترزبورگ، روسیه



مغناطی سنج سزیمی روسی مدل PKM-1 مناسب نقشه برداری در مناطق انبوه، جایی که امکان اندازه گیری مداوم وجود ندارد، یا جایی که موانعی هست ، از این مغناطیس سنج در تجربه حفاری در آبادی دخله مصر در سال ۲۰۰۵، استفاده شد.

گرادیومتر فلاکس گیت. این سنسور از دو نوار موازی مشابه از آلیاژی با نفوذپذیری مغناطیسی بالا به نام مامتال تشکیل شده است.

این آلیاژها توسط اثر الکترومغناطیسی جریان محریک متناوب در سیم پیچ هایی که در اطراف آنها پیچیده شده است، به داخل و خارج اشباع مغناطیسی هدایت می شوند. هر بار که آلیاژها از حالت اشباع خارج می شوند، میدان خارجی را می توان بر آنها اعمال کرد و یک پالس الکتریکی در سیم پیچ آشکارساز متناسب با شدت میدان در آنها ایجاد کرد. سیم پیچ های محرک دو نوار در مقابل سوئیچ می شوند به طوری که جریان محرک هیچ اثر مغناطیسی خالصی نداشته باشد (اسکولار و همکاران، ۱۹۹۰).

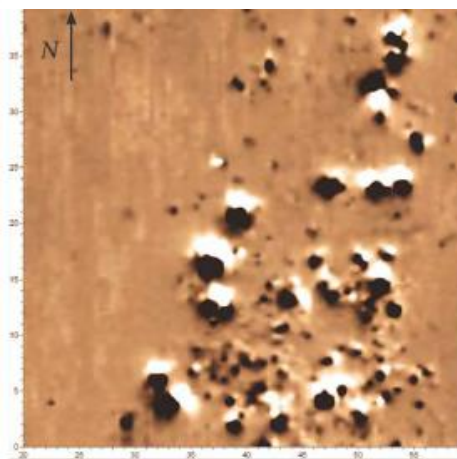
ابزارهای اسکن زمینی فلاکس گیت دارای سطح نویز حدود ۰.۱ نانو تسلا هستند که باعث می شود بررسی در مناطق با تضاد مغناطیسی ضعیف به راحتی دست یافتنی باشد. مزیت های دیگر این ابزارها از جمله فشردگی و ارزان بودن نسبی است. بنابراین، شیب سنج فلاکس گیت با آشکارسازهای پاسخگوی جهت نزدیک خود به (اسب کار - و اسب مسابقه) در کاوش های باستان شناسی بریتانیا تبدیل شده است (کلارک، ۱۹۹۶، ۶۹).



باستان شناس و ژئوفیزیکدان لهستانی دکتر توماس هریچ که در حال انجام پیمایش مغناطیسی در آبادی دخره در مصر با شیب سنج فلاکس گیت Geoscan FM-36 است.



نیدام باگ (دانمارک). پیمایش مغناطیسی با استفاده از دو مغناطیس سنج شار توسط تیمی از یورک، ۲۰۰۵.



نیدام باگ (دانمارک). نقشه مغناطیسی که بر فراز بخشی از باتلاق با کمک GSM19WG تعیین شده است. نقاط سیاه و سفید ناهنجاری‌های مثبت و منفی متعلق به اجسام آهنی هستند، ۲۰۰۵.



نیدام باگ (دانمارک). پیمایش مغناطیسی با استفاده از مغناطیس سنج اورهاسر GCM-19WG در سال ۲۰۰۵.

کاربرد اکتشافات مغناطیسی در دانمارک

بخش قابل توجهی از کار ما مرتبط با بررسی مکان‌های باستان‌شناسی در دانمارک است. روش‌های مغناطیسی در باستان‌شناسی در دانمارک به دو صورت مختلف به کار رفته است: اول، برای تعیین تاریخ باستان‌شناسی، و دوم برای نقشه‌برداری مغناطیسی. اولفرت ووس و نیلز آبراهامسن اولین پیمایش مغناطیسی را در دانمارک در سال ۱۹۶۵ بر فراز مکان ذوب آهن عصر رومی درنگستد در جنوب یوتلند انجام دادند. این کار اثربخشی این روش را برای جستجوی بلوک‌های سرباره نشان داد (آبراهامسن، ۱۹۶۵).

سایر ویژگی‌های باستان‌شناسی که ناهنجاری‌های قوی ایجاد می‌کنند، و در نتیجه اهداف آینده‌نگرانه برای پیمایش مغناطیسی هستند، کوره‌های سفال‌سازی هستند. تعدادی از آن‌ها با مغناطیس‌سنج‌ها در میدان مورد بررسی قرار گرفته‌اند و تاریخ باستانی مغناطیسی برای آن‌ها تعیین شد (آبراهامسن و همکاران، ۱۹۸۲؛ آبراهامسن و همکاران، ۱۹۹۱). نتایج خوبی با اندازه‌گیری میدان ژئومغناطیسی بر فراز کوره آجرپزی بازسازی شده بیدستراپ به دست آمد (هنسن و همکاران، ۱۹۸۰). نیلز آبراهامسن، نیلز برینر و همکاران و دانشجویان آن‌ها تحقیقات بسیار مهمی در آزمایشگاه ژئوفیزیک دانشگاه آرهوس انجام داده‌اند که می‌تواند ماهیت و سن مغناطیسی را در مواد مختلف باستان‌شناسی مشخص کند (آبراهامسن و برینر، ۱۹۹۰، ۱۹۹۳؛ آبراهامسن، و همکاران، ۱۹۹۸). این نویسندگان از سال ۱۹۹۲، بررسی‌های

مغناطیسی منظم در جنوب غربی یوتلند، عمدتاً در مراکز تولید ذوب آهن عصر رومی انجام داده‌اند. چندین پیمایش مغناطیسی امیدوارکننده نیز در سایر مکان‌های باستان‌شناسی انجام شده است.

با توجه به شرایط دانمارک، به ویژه در جنوب غربی یوتلند، که تقریباً تمام زمین‌ها زیر کشت است، تنها بخش‌هایی از مکان‌های باستان‌شناسی که هنوز در زمان‌های قدیم زیرزمینی بوده‌اند حفظ شده‌اند: انواع گودال‌ها (چاله‌های زباله، خانه‌های گودال، پستچاله‌ها)، چاه‌ها، خندق‌ها، و همچنین بلوک‌های سرباره، و غیره. فایده پیمایش‌های مغناطیسی در محوطه‌های باستان‌شناسی در دانمارک بیشتر به دلیل ترکیب دو موقعیت است. اولاً، تضاد خواص مغناطیسی مواد باستان‌شناسی و مواد اطراف (تقریباً ماسه غیر مغناطیسی) زیاد است (جدول زیر را ببینید)، و دوم، سطح نویز نسبتاً پایین است.

	Magnetic susceptibility α , ISO $\times 10^{-5}$	Remanent magnetic moment per mass unit, J_n , Am ² /kg	Q - ratio $Q = J_n / I$
Blocks of slag (Snorup, SW Jutland, 200-600 AD)	50 ÷ 1700	5 ÷ 114 • 10	5 ÷ 212
Bog iron ore from Jutland	0.5 ÷ 0.3		
Fired bog iron ore from Jutland	2 ÷ 10		
Tile kiln (Veldbak near Esbjerg in SW Jutland, ca 1790 AD) (N. Abrahamsen, U. Jacobsen, V. Mejdahl, U. Mejdahl, 1998)	10 ÷ 3,000		3.6 ÷ 25
Bricks from tile kiln (Kalø, first half of 1300 A.D.) (N. Abrahamsen, N. Breiner, 1991)	500 ÷ 1,000	5.4 • 10	
Filling of household pits and post holes (Snorup, Krarup, SW Jutland, 200-600 AD)	1.2 ÷ 2.6		
Filling of a pit house (Krarup, SW Jutland, 200-600 AD)	6.5		
Filling of the well (Snorup)	3		
Topsoil over the cluster of slag blocks (Snorup)	3 ÷ 5		
Topsoil outside the cluster of slag blocks (Snorup)	0.35 ÷ 2		
Dark soil from one of the ridges of a Medieval field (Snorup)	0.9		
Sand close to the ridges of Medieval field (Snorup)	0.3		
Sand (Snorup)	0.1 ÷ 0.7		

ویژگی‌های مغناطیسی و ویژگی‌های مکان‌های باستان‌شناسی در دانمارک.

مناطق نوپاره‌سنگی در دهلی اوایسی در مصر

پیمایش مغناطیسی، که در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ در مکان سلسله اولیه در آینل گزارین انجام شد، ساختاری خشتی مستطیل شکل بزرگی، تقریباً به ابعاد ۵۴ متر در ۱۱۲ متر در بخش مرکزی مکان را نشان داد (به A در نقشه مغناطیسی مراجعه کنید) (اسمکالووا، میلز، هریچ، ۲۰۰۰). جهت محور کوتاه حدود ۲۵° به شرق شمال است. این سازه مستطیل‌شکل با دیوار خشتی گلی بزرگ به ضخامت ۱-۱.۵ متر احاطه شده است. این دیوار محل زندگی و کار را

احاطه کرده است که می‌توان آن‌ها در نقشه مغناطیسی به صورت چندین ناهنجاری منفی عمود بر خانه‌ها و ناهنجاری‌های مثبت از کوره‌ها، کوره‌ها و مکان‌هایی با آثار سوختگی و خاکستر مشاهده کرد. شکل هندسی واضح، زوایای مناسب دیوارها، اندازه بزرگ محوطه اصلی، وجود معبد در داخل محوطه، همگی نشانگر نقش مهم عین الجزیرین است (میس کپر، ۲۰۰، ص ۱۲۳).



آنتونی میلز و تاتیانا اسمکالووا در آمهیدا، ۲۰۰۵.



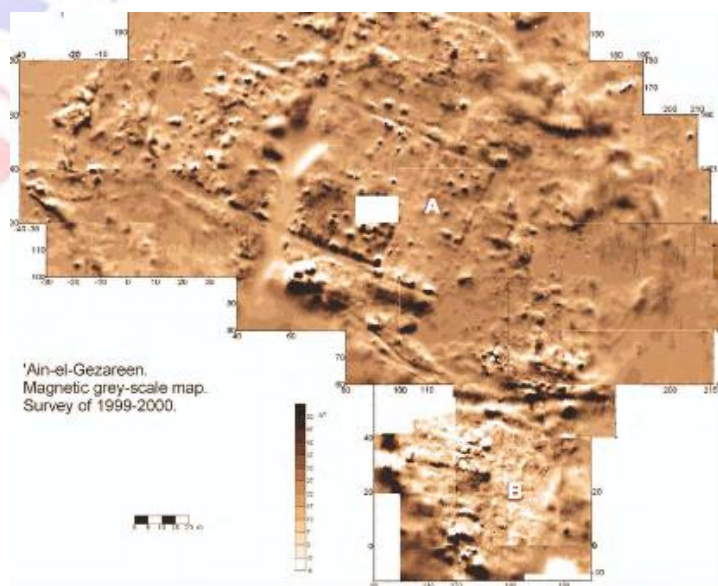
پیمایش مغناطیسی در عین الجزیرین ۱۹۹۹.



تبیین اصول و نتایج یک پیمایش مغناطیسی، ۱۳۸۴.



مزارع سرسبز در آبادی دخله.



نقشه مغناطیسی عین الجزیرین در مقیاس سیاه و سفید. پیمایش در سال ۱۹۹۶-۲۰۰۰ انجام شده است.

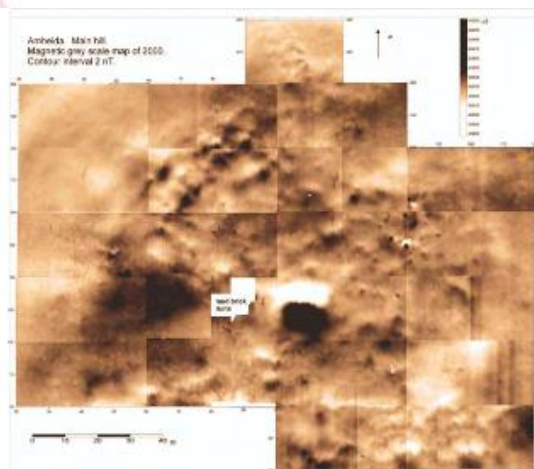
نکته بسیار جالب این اثر آنجاست که ساختار مستطیل شکل دیگری تقریباً به همان اندازه (۵۴ متر) با جهت جنوب به شمال به عنوان محوطه اصلی در جنوب شرقی آن وجود دارد (به B در نقشه مغناطیسی مراجعه کنید) که به نظر می‌رسد به سمت جنوب ادامه دارد.

ناهنجاری‌های مثبت قوی و طویل در قسمت شمالی مکان قرار دارند که احتمالاً توسط گودال‌های دراز ایجاد شده‌اند. قسمت‌های داخلی این گودال‌ها در معرض آتش‌سوزی (شاید ردیفی از چاله‌های پخت و پز) قرار گرفته‌اند (به C در مغناطیسی مراجعه کنید. نقشه و ۲۴).

شگفت‌انگیزترین بخش ماجرا این است که پیمایش مغناطیسی در سال ۲۰۰۰ ساختاری مستطیلی شکل را در همسایگی آن، آمهیدا نشان داد که ابعاد و جهت دیوارها تقریباً مشابه محوطه اصلی در عین الجزرین است. اندازه احتمالی محوطه در آمهیدا تقریباً ۱۰۸ متر × ۵۶ متر است. جهت محور کوتاه این سازه از شمال حدود ۳۷ درجه به سمت شرق است.



سخنرانی در مورد بررسی مغناطیسی در موسسه آمریکایی در واحه دخله.



نقشه مغناطیسی با مقیاس خاکستری ۲۰۰۰ متر از تپه اصلی آمهیدا. فاصله خطوط کنتور ۲ نانوتسلا است.

این بنای مستطیل شکل در آمهیدا، پیش‌سازی از شهر رومی تریمیتیس است که ویرانه‌های آن محوطه سلسله اولیه را پوشانده است. گستردگی ناهنجاری‌های مغناطیسی نشان می‌دهد که منابع مربوط به آن‌ها بسیار عمیق هستند، حداقل می‌توان گفت که عمق آن‌ها از عین الجزیرین بیشتر است. همانطور که مشخص است، در محوطه آمهیدا مواد دوره‌های پیشین یافت شده است، اما هیچ سازه‌ای متعلق به زمان پیش از روم در آن کشف نشده است. امکان دارد تا به حال رد لایه‌های قبلی را در مکان آمهیدا پیدا کرده باشیم؟ فرض بر این است که منطقه تپه اصلی (یا معبد) در آمهیدا توسط چندین معبد اشغال شده بوده است که جانشین یکدیگر شدند. محصور احتمالی در آمهیدا می‌تواند معبدی مشابه چیزی که در عین الجزیرین وجود داشت باشد.

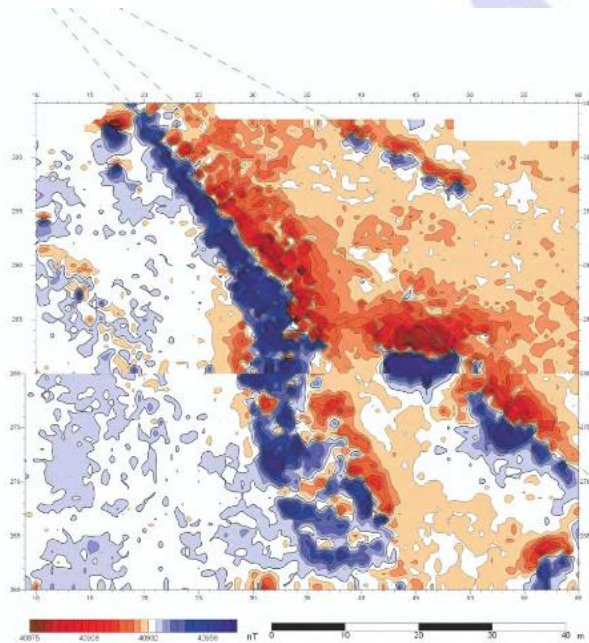
در آن زمان لازم بوده است مقدار زیادی نان در محل برای عبور مسافران باستانی از کویر و همچنین برای کارگران و غلامانی که به فرماندار خدمت می‌کردند تهیه شود. بنابراین، هم در عین الجزیرین و هم در آمهیدا، تنورهای زیادی برای پخت نان در داخل محوطه وجود دارد.

این ال گزارین - مکان سلطنتی باستانی

در طول پیمایش مغناطیسی مکان در سال ۲۰۰۰، ناهنجاری‌های مثبت طویل و عجیبی در قسمت شمالی مکان، خارج از محوطه اصلی آشکار شده است (به ساختار "e" در صفحه ۲۲ مراجعه کنید). این ناهنجاری‌ها اختلالات به نسبت زیادی با میدان مغناطیسی دارند و هیچ نشانه روشنی از ساختارها روی سطح وجود ندارد. به نظر می‌رسد که ساختارهای خطی که با خطوط چین سبز در شکل زیر نشان داده شده است حکم همان نقطه تلاقی را دارند. این نقطه تلاقی می‌تواند یک چشمه آب یا شی مهم دیگری باشد. به دلیل مجاورت محوطه پادشاهی اولیه، عین الجزیرین با یک محوطه نوسنگی، می‌توان فرض کرد که این اشیاء به هم متصل هستند.

اولین توضیح این ویژگی‌ها می‌تواند ارتباط آن‌ها با چشمه‌های آب باشد که آثار آن به صورت کانی‌های سیاه رنگ یعنی توف‌هایی که از چشمه‌های آب طبیعی سرچشمه گرفته‌اند، در فلات نمایان است. اگر اینطور باشد، اجسام طویل می‌توانند کانال‌های آبی باشند که در دوران باستان برای بهبود خواص ضد آب‌بودن خاک رس تزریق می‌شدند. توضیح دیگر این مسأله می‌تواند این باشد که آن‌ها ردیفی از چاله‌های پخت و پز یا گودال‌هایی برای تهیه نوعی غذای آیینی

برای مردم این مکان‌ها هستند. ساختارهای موازی باستان‌شناسی در سایر نقاط جهان، به عنوان مثال، در اسکاندیناوی شناخته شده است. این ساختارها همچنین می‌توانند ردیفی از شومینه باشند که در آن‌ها ظروف سرامیکی پخته می‌شده است.



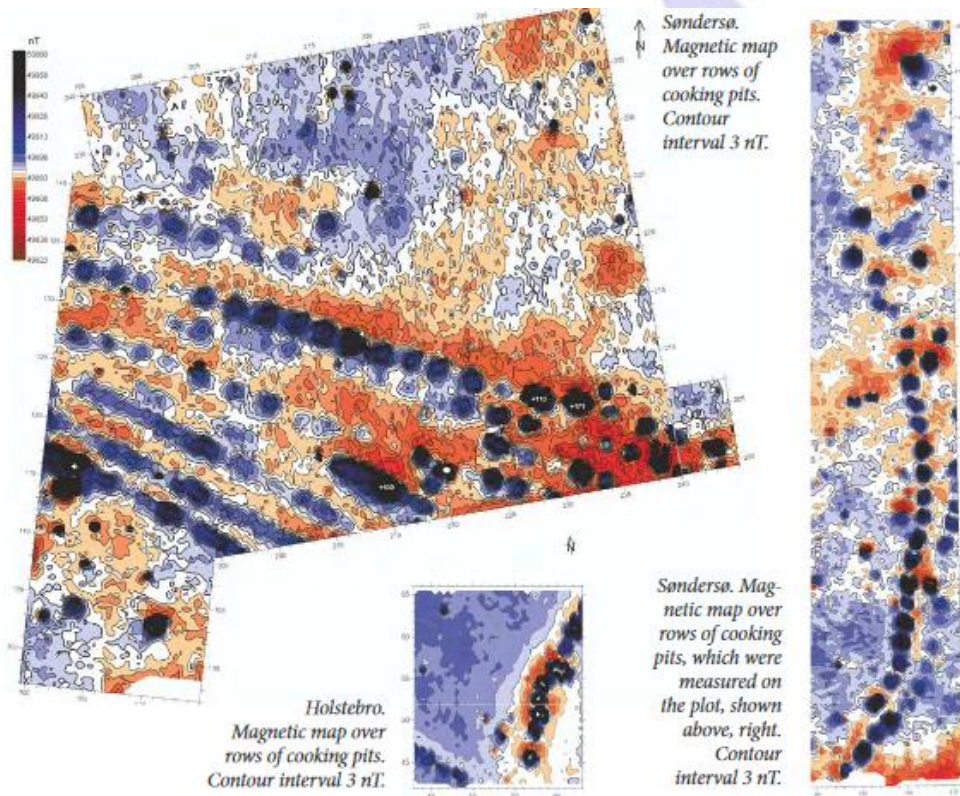
نقشه مغناطیسی قسمت شمالی عین الجزیرین. این نقشه ناهنجاری‌های طویل در سازه‌های آتش گرفته را نشان می‌دهد. فاصله خطوط تراز ۳ نانوتسلا است.

دیگ‌های خوراکی عصر برنز در اسلند، فین و دانمارک

ردیف‌هایی از چاله‌های پخت و پز و خندق‌های طولانی، پر از سنگ‌های پخته‌شده، از اسکاندیناوی در اواخر عصر برنز (حدود ۱۰۰۰ سال قبل از میلاد) شناخته شده‌اند (هنریکسن، ۲۰۰۵).

در سال ۲۰۰۵، ما ویژگی‌های باستان‌شناسی مشابهی را در مکان ساندرس، در شمال غربی اودنسه در جزیره فین در دانمارک بررسی کردیم (نقشه‌های مغناطیسی زیر را ببینید). ردیف‌هایی از چاله‌های پخت و پز نیز در بخش دیگری از دانمارک - در نزدیکی هولستبرو در یوتلند (نقشه مغناطیسی مربوطه را در زیر ببینید) پیدا و با استفاده از مغناطیس سنج‌ها بررسی شده است. چنین اشیای باستان‌شناسی ناهنجاری‌های مغناطیسی بسیار مشخصی را ایجاد می‌کنند: یک ناهنجاری مثبت قوی مستقیماً روی چاله‌های پخت و یک ناهنجاری منفی متمایز در شمال مثبت. هر دو جزء باستان‌شناسی مصر و

دانمارک با وجود تفاوت‌های جغرافیایی و زمانی، ناهنجاری‌های مغناطیسی مشابهی ایجاد می‌کنند (نقشه‌های زیر و صفحه قبل را مقایسه کنید). می‌توان اینطور تصور کرد که ردیف‌های ناهنجاری در مکان عین الجزرین در مصر نیز چاله‌های پخت و پز است.

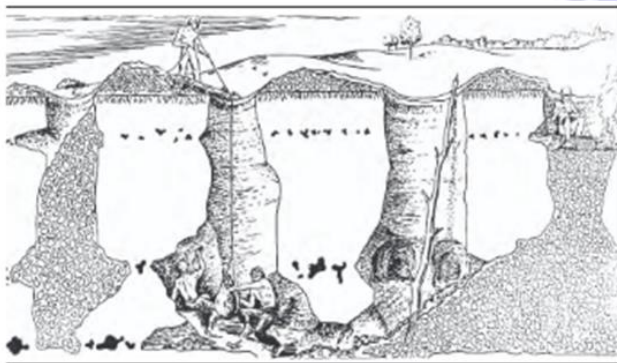


معادن سنگ چخماق نوسنگی در شمال یوتلند

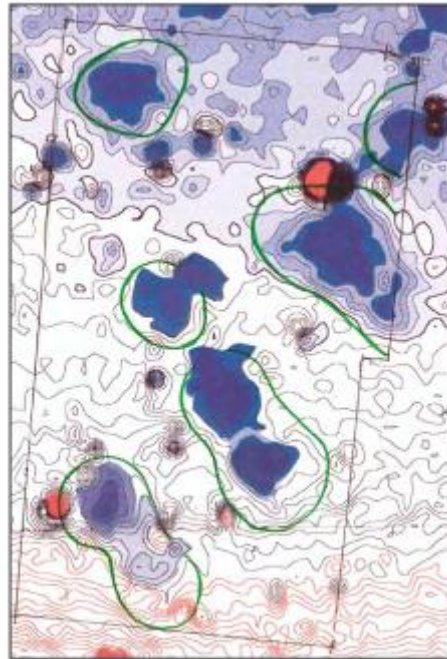
در عصر نوسنگی و اوایل برنز، سنگ چخماق ماده اصلی ابزار و سلاح بود. برای مردم باستان، یافتن سنگ چخماق خوب برای ساخت ابزار بسیار مهم بوده است. سنگ چخماق معمولاً در لایه‌های خاصی در گچ رسوب می‌کند. مردم باستان برای رسیدن به لایه‌های حاوی سنگ چخماق مجبور بودند چاه‌های عمیقی را حفر کنند. قدمت چاه‌های معادن سنگ چخماق در هوو، یوتلند شمالی، دانمارک ۲۵۰۰-۲۰۰۰ سال قبل از میلاد است. پروفیسور جی سی بکر در سال ۱۹۵۷-۱۹۵۸ این چاه‌ها را برای موزه ملی دانمارک کاوش کرد. معادن سنگ چخماق دارای چاه‌هایی به عمق ۸ متر و عرض ۴ متر است که راهروهای جانبی آن به طول ۵ متر می‌رسد.

برای پیمایش مغناطیسی مهم است که بدانید این چاه‌ها با مخلوطی از خاک و قطعات گچ پر شده‌اند. در برخی از

چاله‌ها نیز خانه‌های گودالی وجود داشته است که اغلب دارای شومینه برای معدنچیان باستانی بوده‌اند. در حالی که گچ ماده‌ای کاملاً عاری از خاصیت مغناطیسی است، خاک و شومینه‌ها کمی مغناطیسی هستند. این تضاد مغناطیسی سبب می‌شود که برای مشاهده ناهنجاری‌های مثبت ضعیف در معادن سنگ چخماق کافی باشند. پیمایش مغناطیسی ۱۹۹۹-۲۰۰۳ در زمینی به مساحت بیش از ۲ هکتار انجام شده است. مجموعه کاملی از ناهنجاری‌های موضعی ضعیف، با مقادیر ۱۰ تا ۶۰ نانوتسلا، آشکار شده است. کاوش‌های آزمایشی در منطقه با مین‌های احتمالی سنگ چخماق این فرضیه را درباره محل چاه‌ها تأیید می‌کند.



نمایی از منطقه. لایه بالایی خاک در سال ۲۰۰۰ برای بررسی ناهنجاری‌های میدان مغناطیسی برداشته شد. نقشه حاصل از این پیمایش در زیر آمده است. عکس: ینس هنریک بیچ.



هاو ۲۰۰۰. بخشی از نقشه مغناطیسی با ناهنجاری‌های موضعی مثبت از معادن سنگ چخماق. منطقه مورد نظر مشخص شده است. خطوط تراز معادن سنگ چخماق با رنگ سبز مشخص شده‌اند.



هاو، تو. نقشه برداری مغناطیسی در قسمت غربی مکان پیمایش با یک پوشش پلاستیکی برای محافظت از باران دور سنسور مرجع قرار گرفته است. ۲۰۰۲.



هاو. قسمت جنوب غربی سایت. نقشه برداری مغناطیسی در سال ۲۰۰۱.

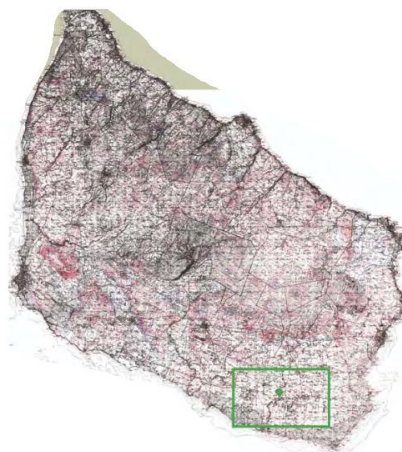


هاو. قسمت شرقی سایت. نمایی از نقشه برداری مغناطیسی در سال ۲۰۰۳.

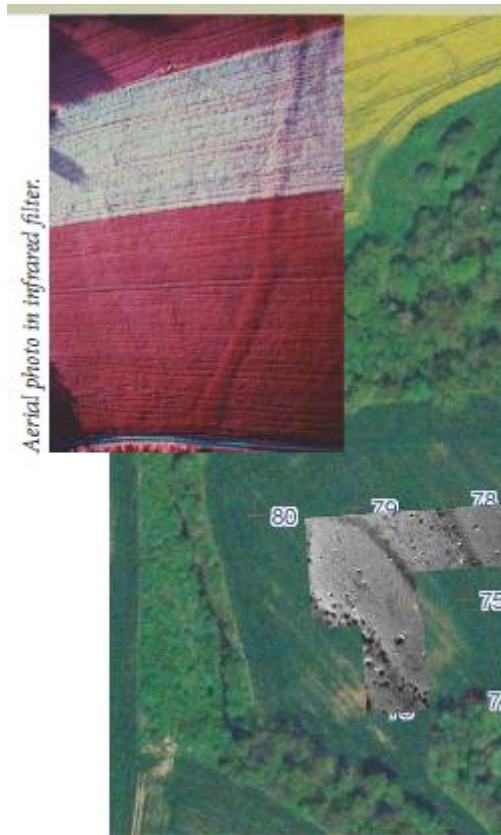


هاو- بعد از یک روز کاری پیمایش مغناطیس. سال ۲۰۰۳.

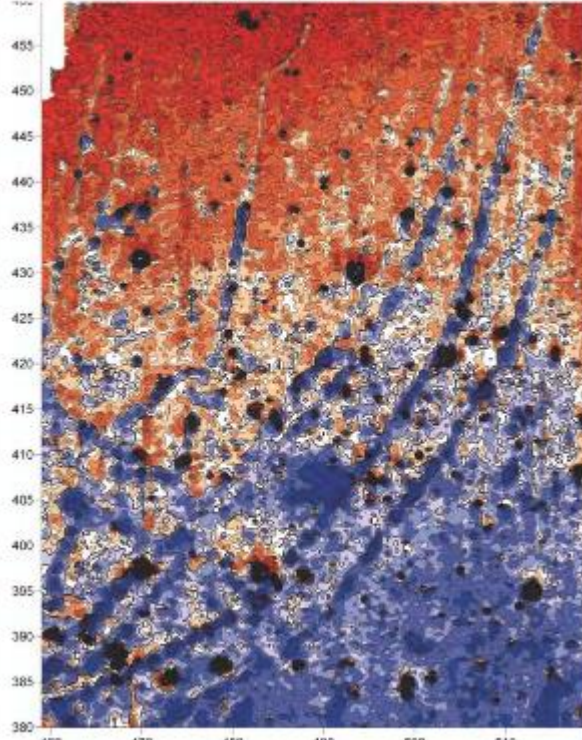
دیواره‌های نوسنگی در رسپجرگ در دانمارک



میدان مغناطیسی قائم بر فراز بورنهولم موسسه ژئودتیک، کپنهاگ، ۱۹۸۴.



Magnetic map of the south-east part of the site.



عکس سمت راست: نقشه مغناطیس بخش جنوب شرقی منطقه.

عکس‌های هوایی از استحکامات دوره مهاجرت ریسپریگ در جزیره بالتیک برونهولم که گودالی وسیع را در حدود ۲۰۰ متری قلعه نشان می‌دهد.

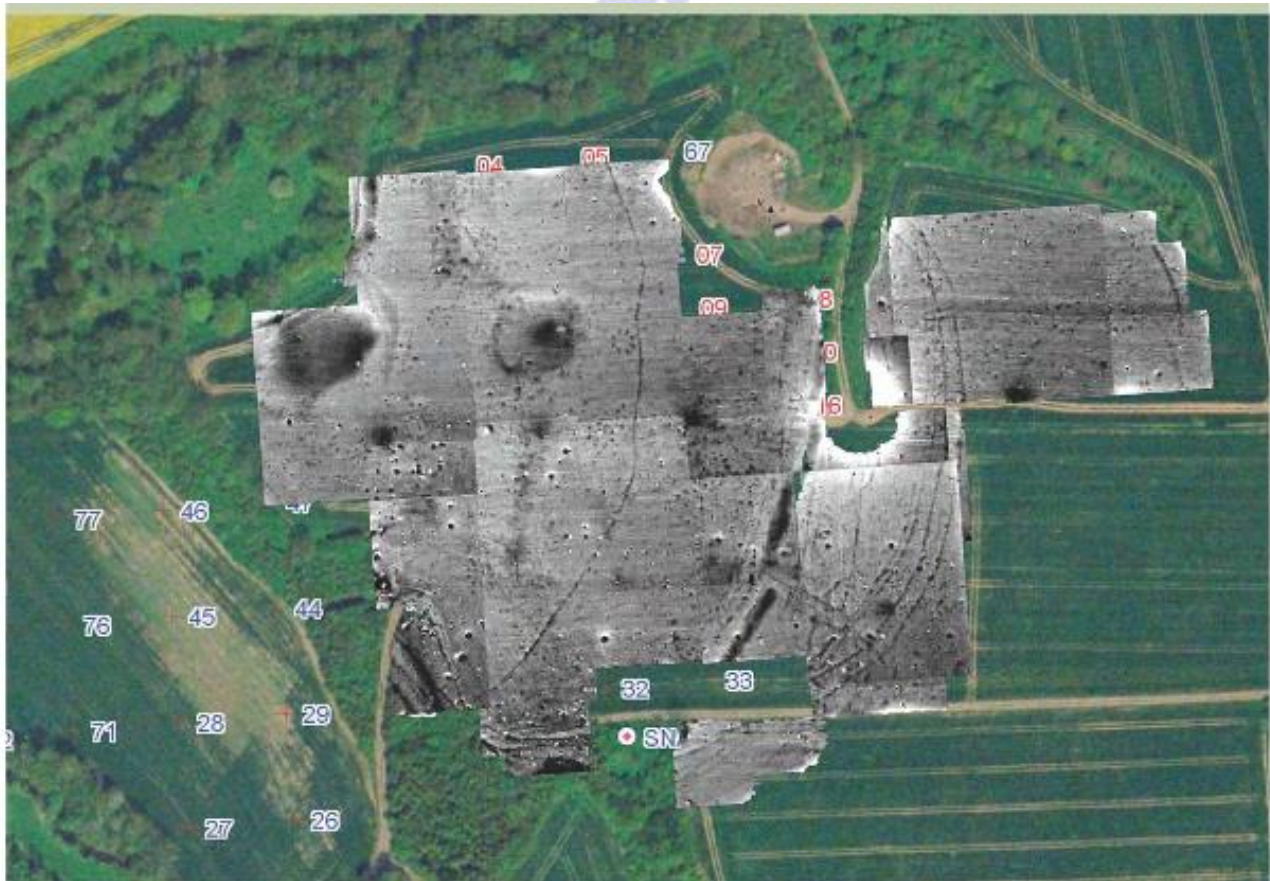
تنها چیزی که اکنون در این مکان قابل مشاهده است، خود دژ و یک گودال شنی است که باستان‌شناس موزه برونهولم در سال ۱۹۹۵ در آن آثاری از پالیسی‌ها و سفال‌های دوران نوسنگی را از فرهنگ کیف دیرینه بیکر متعلق به ۲۹۰۰-۲۷۰۰ قبل از میلاد پیدا کرده است.

در طول دو هفته در بهار ۲۰۰۷ یک پیمایش مغناطیسی در این مکان انجام شده است که ۴ هکتار را پوشش می‌دهد. طرح کلی چند خندق کاخ و چندین ویژگی دایره‌ای به قطر ۸-۱۰ متر که از ۸-۱۰ پستچاله بزرگ را نشان می‌دهد. آن‌ها با منطقه وودهنجس انگلیس قابل مقایسه هستند و در سراسر مکان یافت می‌شوند.

دو منطقه دایره‌ای به قطر حدود ۴۰ متر حاوی مواد مغناطیسی بیشتری هستند و روزی حفاری‌ها مشخص می‌کنند که چه ساختاری را نشان می‌دهند. در قسمت شرقی محوطه آثاری از چندین ورودی به چشم می‌خورد. این قسمت از نقشه

مغناطیسی در هنگام کمک بزرگی به باستان‌شناسان کاوش خواهد کرد.

با نقشه مغناطیسی، باستان‌شناس می‌تواند نحوه سازماندهی کاوش را برنامه‌ریزی کند تا بهترین مستندات ممکن را به دست آورد، چرا که می‌تواند تصمیم بگیرد که خاک سطحی را در کجا پوشش دهد و بخش‌ها را در کجا قرار دهد. به نظر می‌رسد ورودی دیگری در وسط ضلع شرقی وجود دارد، اما در اینجا میدان مغناطیسی قوی در قطر ۴۰ متر تحت الشعاع میدان مغناطیسی قوی اطراف یک دکل الکتریکی فولادی قرار گرفته است که امکان ثبت ضعیف را از بین برده است. سیگنال‌های مغناطیسی که توسط پالیسیدها تولید می‌شوند. ستون‌های چوبی سیم‌های برق به صورت نقاط تاریکی ظاهر می‌شوند که در فاصله ۶۰ متری از شرق به غرب قابل پیگیری است.



نقشه مغناطیسی با مقیاس خاکستری. پس زمینه نقشه یک عکس هوایی است. آخرین اندازه‌گیری‌ها در نوامبر ۲۰۰۷ انجام شده است.

گورهای مگالیتیک عصر حجر در شمال زینلند، دانمارک

گورهای مگالیتیک دانش به طور گسترده‌ای در زینلند، فین، سایر جزیره‌ها و در مناطق شرقی و شمالی یوتلند پراکنده هستند. تمامی این‌ها با هم ۷۰۰ گور مسکوت باقیمانده در دانمارک و تعداد ۳۸۰ عدد در سویدن هستند (اسکاراپ ۱۹۹۳).

باروهای دانمارکی با ساختارهای مگالیتیک مربوط به ۳۵۰۰ تا ۳۲۰۰ قبل از میلاد هستند. ویژگی بارز اتاق‌های تدفین آن‌ها، ساخت آن‌ها با سنگ‌های گرانیتی بزرگ است. این گورها با یک سنگ بزرگ پوشیده شده‌اند که می‌توان آن‌ها را از بالای تپه‌های اطراف دید.

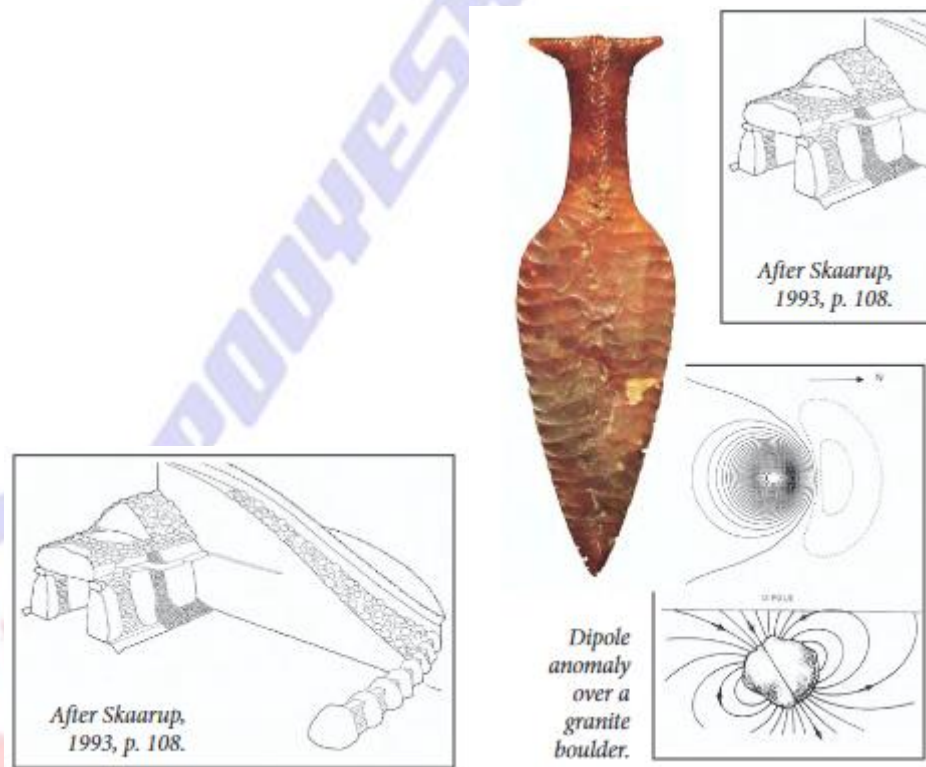
محوه‌ای از سنگ‌های عظیم در پای تپه برپا شده بوده است. یکی دیگر از ویژگی‌های متمایز این منطقه این است که بارو دارای یک گذرگاه سنگی است (اسارپ ۱۹۹۳). گاهی اوقات ممکن است دو قبرگذرگاهی در یک تپه وجود داشته باشد (دهن، هنسن ۱۹۹۹). محفظه سنگ‌های کناری به شکل دایره‌ای در تپه‌ای یک قبر یا مستطیل شکل در باروهای بلند با چندین گور است. مقبره‌های قبرهای گذرگاهی کاملاً با خاک پوشیده شده‌اند، بنابراین مانند گوردخمه‌های معمولی به نظر می‌رسند. دانستن این نکته برای پیمایش مغناطیسی ضروری است که مصالح ساختمانی اصلی این قبرهای گذرگاهی گرانیت است. گرانیت سنگ نفوذی نسبتاً مغناطیسی حاوی حداکثر چند درصد مگنتیت - اکسید آهن مغناطیسی است. حساسیت مغناطیسی (κ یا α) گرانیت می‌تواند از ۱۰ تا 10^{-5} ISO ۱۰۰۰ (در مقایسه با α برای خاک سطحی در دانمارک: از ۰.۳ تا 2×10^{-5} ISO) متفاوت باشد.

مغناطیس بازماند قابل توجهی در هنگام تشکیل وجود داشته است. هر تخته سنگ گرانیتی مانند آهنربای کوچکی است که دارای قطب‌های مغناطیسی مثبت و منفی خاص خود است. چنین اجسامی را دوقطبی مغناطیسی می‌نامند. بنابراین، هر سنگ گرانیت یک ناهنجاری ایجاد می‌کند که شبیه به ناهنجاری مغناطیسی یک دوقطبی است. ویژگی اصلی ناهنجاری دوقطبی وجود هر دو بخش مثبت و منفی است. به طور کلی، شکل و مقدار ناهنجاری مغناطیسی هر سنگ گرانیتی به جهت گیری دوقطبی با توجه به جهت میدان مغناطیسی زمین بستگی دارد.

اگر جهت دوقطبی (در عرض جغرافیایی دانمارک) با جهت میدان مغناطیسی زمین منطبق باشد، ناهنجاری روی آن

قسمت مثبت بزرگی کمی به سمت جنوب مرکز جسم و قسمت منفی ضعیف تری بلافاصله به شمال خواهد داشت. میدان مغناطیسی بر فراز باروهایی با گورهای مگالیتیک، برهم نهی بسیاری از ناهنجاری‌های دوقطبی مختلف از تخته سنگ‌های گرانیتی است. اینها اندازه‌های متفاوتی دارند و در اعماق متفاوت قرار دارند. در سال ۱۹۹۷ میدان مغناطیسی بر روی یک باروی نیمه حفر شده متعلق به عصر حجر در ودستد (بخش وستد، شماره ثبت sb.153) با کمک موگرگ سین جورجنسن اندازه‌گیری شد.

نقشه مغناطیسی بسیار پرنکته است: محفظه مرکزی، گذرگاه و هر سنگ محفظه دایره‌ای باعث ایجاد ناهنجاری‌های قوی، تا چند صد نانوتسلا (۲۰-۸۰ نانوتسلا) شده‌اند.



ناهنجاری دوقطبی بر روی تخته سنگ گرانیتی.

نقشه مغناطیسی سنگ‌های نامرئی را در قسمت شمالی بارو نشان داد. این منطقه حفاری نشده است. (نقشه مغناطیسی را با نقشه حفاری مقایسه کنید).

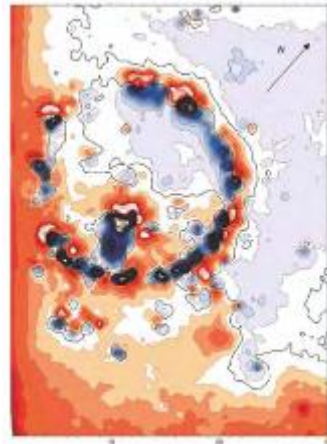
با در نظر گرفتن این تجربه مثبت، پیمایش مغناطیسی یکی دیگر از باروهای عصر حجر در جیگریس (بخش دربی، شماره ثبت sb. 155) در شمال نیوزیلند در سپتامبر ۲۰۰۰ انجام شد.

این بارو بیش از ۲۵۰ سال پیش به دنبال علاقه یکی از پادشاهان دانمارک به باستان‌شناسی تا حدی حفاری شد. در نقشه مغناطیسی حاصل، می‌توان مشاهده کرد که گذرگاه حفاری شده و یک محفظه، ناهنجاری‌های مغناطیسی بسیار قوی (تا ۷۵۰ نانوتسلا) ایجاد می‌کنند. این ناهنجاری‌ها روی یک خط عمودی در نقشه مغناطیسی در میانه راه بین سمت چپ و راست نقشه قرار دارند. با این حال، جالب‌ترین نکته این است که ناهنجاری‌های دیگری به طور متقارن در ۷ متری جنوب غربی این اتاق وجود دارد. (اسمکالووا، ووس، ۲۰۰۱).

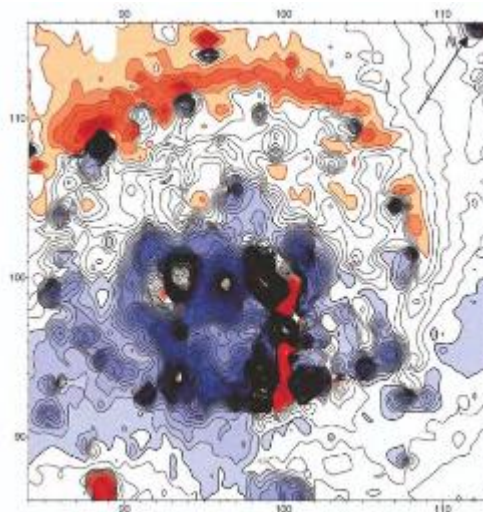
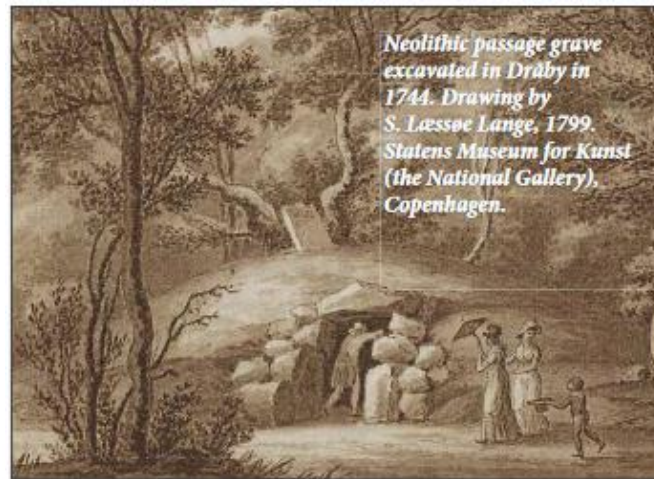
می‌توان این ناهنجاری‌ها را دالانی دیگر تقریباً موازی با اولی و اتاقک دیگری که در کنار راهروی حفاری شده قرار دارد، دانست. همچنین دیواری مدور از سنگ‌های کوچکتر وجود دارد که دو اتاق و راهرو را احاطه کرده است. تعدادی سنگ در قسمت شمالی دایره از بین رفته است. همچنین سازه‌های کوچکتری در شمال هر دو اتاق و همچنین بین آن‌ها وجود دارد. شناسایی این ساختارها دشوار است. هر یک از این ساختارها می‌تواند فقط سنگی بزرگ باشد (اسمکالووا و هماران ۲۰۰۵).

پیمایش‌های مغناطیسی برای بررسی باروهای دانمارکی بسیار کارآمد به نظر می‌رسد. حتی اگر آن‌ها با خاک پوشیده شده باشند، با پیمایش مغناطیسی می‌توان تصویری دقیق از ساختار داخلی آن‌ها ایجاد کرد. لازم به ذکر است که لازمه موفقیت پیمایش مغناطیسی بر روی باروها عمق بودن تپه‌ها است. به عنوان مثال، اگر باروها یک یا دو متر بالاتر بودند، میدان مغناطیسی قابل اندازه‌گیری در روی آن‌ها به طور قابل توجهی تغییر می‌کرد.

اما در شرایط مساعد، بررسی‌های مغناطیسی این امکان را برای مشاهده وجود سازه‌های سنگی در داخل باروها به وجود می‌آورد و به این ترتیب باروهای عصر سنگی، برنز و آهن را از هم تفکیک می‌کنند. علت این کار این است که باروهای عصر برنز در ساخت خود سنگ‌های بسیار کوچک‌تری نسبت به سنگ‌های عصر حجر دارند و باروهای عصر آهن فقط از جنس چوب غیرمغناطیسی هستند. به نظر می‌رسد پیمایش مغناطیسی روشی قدرتمند برای بررسی باروها باشد. در دانمارک از این باروها محافظت می‌شود و در حال حاضر امکان حفاری آن‌ها وجود ندارد.



نقشه مغناطیسی و طرح حفاری یک گور مگالیتیک در ودستد. فاصله خطوط تراز ۵ نانوتسلا است.

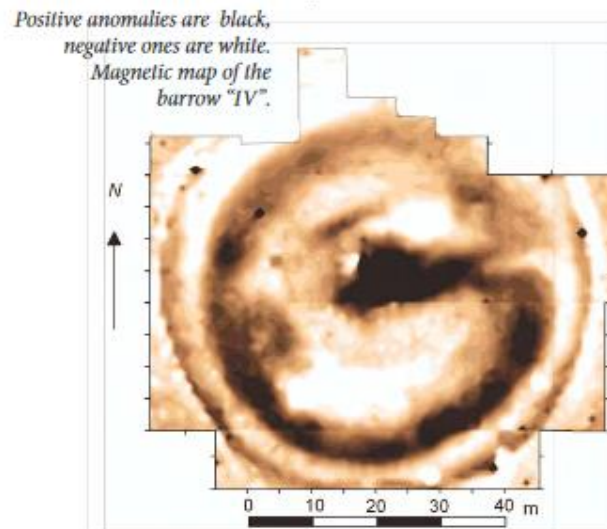


نقشه مغناطیسی گور مگالیتیک در درابی. فاصله خطوط تراز ۵ نانوتسلا است.

باورهای سکاها در کریمه



آک کاجا. یکی از بزرگترین باروهای سکایی - IV. این حفاری پس از پیمایش مغناطیسی در سال ۱۹۹۶ انجام شده است. ارتفاع این ساختار ۱۰ متر و قطر آن ۶۰ متر است.

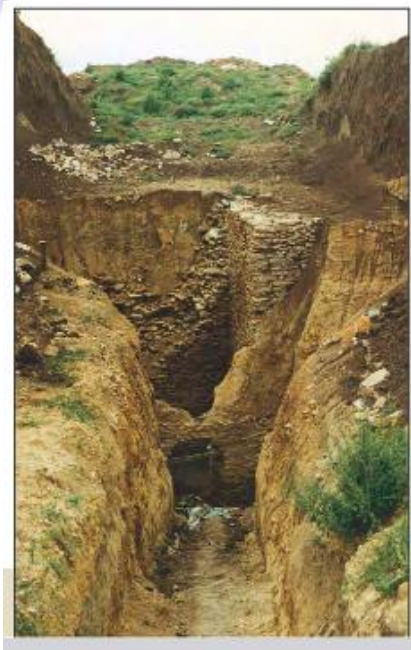


ناهنجاری‌های مثبت سیاه‌رنگ و ناهنجاری‌های منفی سفیدرنگ هستند. نقشه مغناطیسی بارو IV.

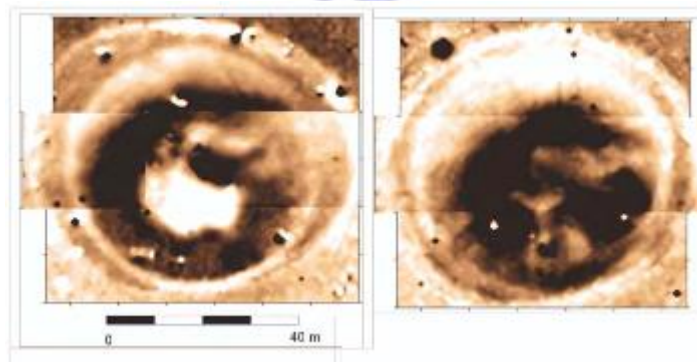
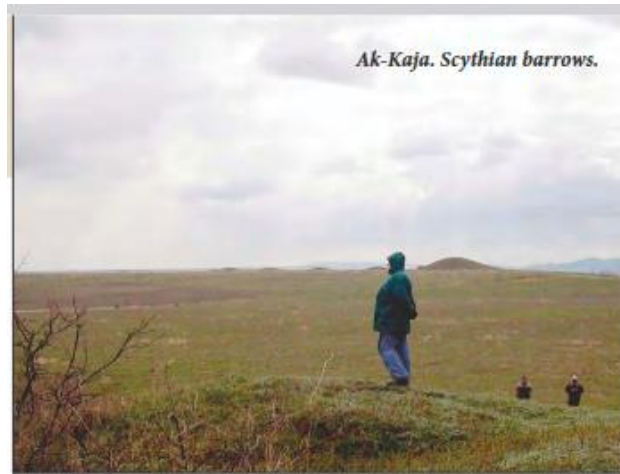


یک پیمایش مغناطیسی با گرادایومتر اورهاسر از مدل جم سیستم در سال ۱۹۹۶ در فلات آک کاجا در شمال شهر بلوگرسک در کریمه مرکزی در بخش شمالی دریای سیاه انجام شد. صخره‌های بسیار مرتفعی موجود در این فلات پدیده طبیعی بسیار جذابی هستند که تمام فیلم‌های کابویی روسی از آن‌ها فیلمبرداری شده است. فرمانداران سکاها این منطقه را در قرن چهارم قبل از میلاد به عنوان قبرستان اجدادی انتخاب کردند. از نظر باستان‌شناسی، این منطقه تقریباً ناشناخته است، اما تعداد زیادی بارو وجود دارد. در این منطقه، تناوب‌های دوره ای بین باروهای بزرگتر (با ارتفاع حدود ۱۰ متر) و کوچکتر وجود دارد (اسمکالوا و همکاران ۲۰۰۷).

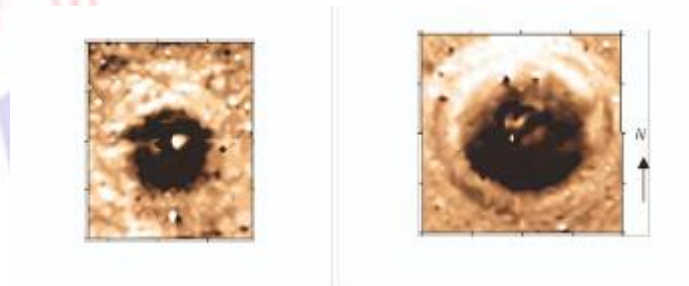
مصالح ساختمانی به کاررفته در ساخت بخش داخلی باروها سنگ آهک است. این سنگ در عمل غیرمغناطیسی است، در حالی که خاک این مناطق دارای حساسیت مغناطیسی چشمگیری دارد. این امر امکان آشکارسازی ساختارهای سنگی را با ناهنجاری‌های منفی آن‌ها بر روی نقشه‌های مغناطیسی ممکن می‌سازد. دایره‌ای با ناهنجاری منفی و قطر ۵۰ متر هر یک از سه باروی بزرگ را احاطه کرده است. دیواره‌های دایره ای داخل بارو باعث این ناهنجاری می‌شود. در هر بارو یک ناهنجاری منفی طولانی (تا ۲۰- نانوتسلا) که از سمت شرقی یک کروملک شروع می‌شود و به سمت مرکز بارو منتهی می‌شود، نشان دهنده راهروی (دروموس) است.



بارو IV پس از حفاری. عمق محفظه ۱۲ متر از بالای بارو یا ۷ متر از سطح است.



آک کاجا. باروهای I و II. نقشه مغناطیسی دایره سفید داخلی دیوار آهکی را نشان می دهد. دروموزها از سمت شرق (رنگ روشن) شروع می شوند. نواحی سفید یا تیره در مرکز مربوط به اتاقک‌هایی است که یا تا حدی ت به طور کامل تخریب شده‌اند و با خاکی مغناطیسی تر از سنگ آهک پر شده‌اند.



دو بارو کوچکتر (I/1 و V) که سطح آنها با سنگ‌های کوچک و متوسط پوشیده شده است. میدان مغناطیسی بر فراز این باروها به طور چشمگیری با مواردی که قبلاً ذکر شد تفاوت دراد. هیچ اثری از کروملک یا دفینه مرکزی وجود ندارد. ناهنجاری مثبتی تمام قسمت میانی بارو را اشغال کرده است.



انتقال شیب‌سنج GSM-19WG به منطقه‌ای در کریمه.

پشته‌های مرزهای غربی باسپوروس در کریمه اوکراین



بخشی از نقشه باستان‌شناسی در نزدیکی سادوآ۲.



نقشه برجسته شبه جزیره کرچ. باروها با دایره‌های سیاه مشخص شده‌اند.



نقشه مغناطیسی با مقیاس خاکستری از گروه باروها در نزدیکی سادوآ.

هزاران بارو در استپ‌های کریمه واقع شده‌اند. در نقشه مرکب کورگان‌های موجود در نقشه یک ورست و ۱:۲۵۰۰۰ قرن ۱۹ با دایره‌های سیاه نشان داده شده است. نکته مهم در نقشه دوم، ردیف طولانی کورگان‌ها یا برخی ارتفاعات محلی است که از نزدیک یکدیگر را دنبال می‌کنند. این ردیف از حومه شمال شرقی شهر استاری کریم در امتداد رودخانه کراک سو امتداد می‌یابد، سپس به طور ناگهانی به سمت شرق در نزدیکی نوپکروا می‌چرخد و در امتداد خط الراس پریس تا بارو زونلار ادامه دارد. در اینجا ردیف به دو قسمت تقسیم می‌شود، یک شاخه از آن به نیمفایون و دیگری به دماغه آک برون می‌رسد. باروها که در یک ردیف طولانی قرار گرفته‌اند، احتمالاً راه‌های سنتی باستانی و مسیرهای عشایر را نشان می‌دهند (نقشه را با باروهایی که به صورت نقطه مشخص شده‌اند را ببینید).

آخرین رودخانه بزرگ در غرب شبه جزیره کرچ، رودخانه چوروک-سو است. در شرق از آن دشتی تقریباً بدون آب به خصوص در قسمت جنوب غربی شبه جزیره تا تنگه کرچ وجود دارد. بنابراین، نه تنها تعداد زیادی بارو، بلکه بسیاری از سکونتگاه‌های قرن ۳-۵ قبل از میلاد در امتداد کرانه شرقی مرتفع رودخانه چروک-سو وجود دارد.

یکی از گروه‌های بارو، واقع در نزدیکی شهرک سوادوا ۲، در سال ۲۰۰۷ با دو مغناطیس سنج کانادایی اورهاسر-GSM-19WG مورد بررسی قرار گرفت، در حالی که سومین (مغناطیس سنج پروتونی MMPG-1، سنت پترزبورگ، روسیه) به‌عنوان نقطه پایه خدمت کرد. الگوهای بسیار واضحی از باروها در نقشه مغناطیسی قابل مشاهده است. هر بارو با ناهنجاری مثبت دایره ای احاطه شده است که مربوط به یک گودال حلقه ای است که در طول ساختن بارو ایجاد شده است. یک وقفه دایره در ضلع شرقی وجود دارد که نشان دهنده ورود به بارو است. برخی از ناهنجاری‌های مثبت محلی احتمالاً در اثر دفن در داخل باروها ایجاد می‌شوند.

بخش مستحکم نیمه‌برانتی در رودخانه کوبان در جنوب روسیه

مکان مستحکم نیمه‌برانتی در جریان میانی رودخانه کوبان، تقریباً ۲۸ کیلومتری شمال شرقی شهر آناپا (شهر یونان باستان گورجیا) واقع شده است. بر اساس نتایج کاوش‌های بخش شمالی محوطه، می‌توان قدمت این محوطه را از اواخر قرن ششم هجری قمری دانست. قبل از میلاد مسیح. تا قرن اول پس از میلاد در این دوره رودخانه کوبان به این مکان نزدیک بود. اطراف شهر را دیوارها و خندق‌های استحکاماتی بزرگ احاطه کرده بود، از جمله قسمتی که در مجاورت

رودخانه قرار داشت. پیمایش مغناطیسی در سال ۲۰۰۶ در جنوبی ترین منطقه مرتفع، جایی که کاوش‌های اخیر انجام شده و در میدان غربی (در سال ۲۰۰۷) انجام شده است.

جالب ترین نتیجه در زمین غرب به دست آمد. در نقشه مغناطیسی میدان غربی دو ناهنجاری مثبت طولانی (به طور متوسط ۴۰ نانوتسلا در دامنه) وجود دارد که در زاویه ۹۰ درجه با یکدیگر تلاقی می کنند (نقشه مغناطیسی را در سمت راست ببینید). دو ناهنجاری مغناطیسی مثبت بسیار قوی و همچنین دو وقفه در ناهنجاری‌های طویل در بخش‌های غربی و جنوب شرقی این ساختار خطی وجود دارد.

اگر نقشه مغناطیسی بر روی عکس هوایی سال ۱۹۷۰ قرار گیرد، مشخص می شود که دو ناهنجاری طولانی بسیار دقیق با مرز جنوب شرقی قسمت مستطیلی جنوبی مکان مطابقت دارند. منع این ناهنجاری احتمالاً یک دیوار شهری است. نسبتاً غیرعادی است که ناهنجاری مغناطیسی مثبت می دهد. این می تواند به ما بگوید که دیوار احتمالاً از یک ماده سفالی ساخته شده است که پس از آن یا گهگاه یا مخصوصاً برای سفت شدن "بدنه" سفالی دیوار در معرض آتش قرار می گیرد. این نیست مستثنی شده است که شالوده دیوار از سنگ ساخته شده باشد.

دو ناهنجاری مثبت بزرگ که در امتداد خط دیوار فرضی شهر قرار گرفته اند، احتمالاً دو برج بوده اند که در اثر آتش سوزی شدید از بین رفته اند. این برج‌ها از دو دروازه در دیوار شهر دفاع می کردند. امکان مشاهده ناهنجاری‌های منفی مستطیل شکل در داخل قسمت جنوبی محوطه استحکامات در فاصله ای از دیوار وجود دارد. می توان آن‌ها را به عنوان بقایای ساختمان‌های بسیار بزرگ تفسیر کرد.



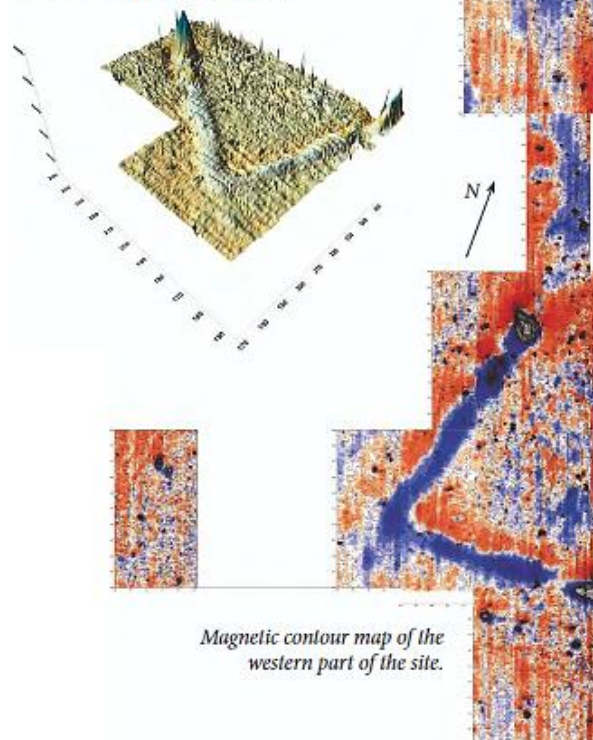
Plan of the site and magnetic maps of 2006-2007.



عکس هوایی و نقشه مغناطیسی با مقیاس خاکستری.

Aerial photo and magnetic grey scale map.

Three dimensional magnetic map.



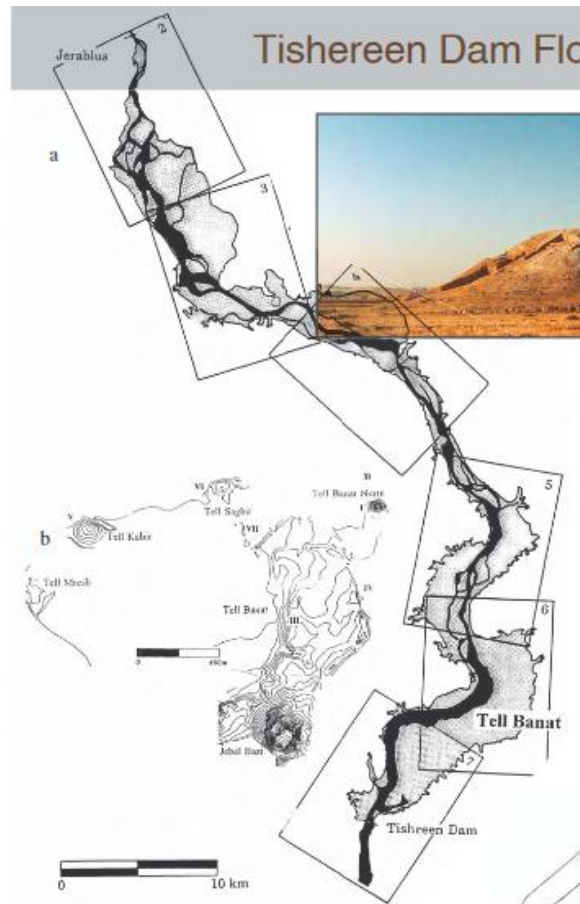
Magnetic contour map of the western part of the site.

نقشه مغناطیسی سه بعدی و نقشه خطوط تراز مغناطیسی قسمت غربی منطقه.

بنات تل در رودخانه یوفریت منطقه سیلابی سد تیشین در سوریه

یک پروژه بزرگ برای تحقیقات باستان‌شناسی در سوریه در امتداد رود فرات در طول دهه ۱۹۹۰ قبل از ساخت سد تیشین انجام شد. مناطق وسیعی از دره پس از آن دچار آبگرفتگی شد.

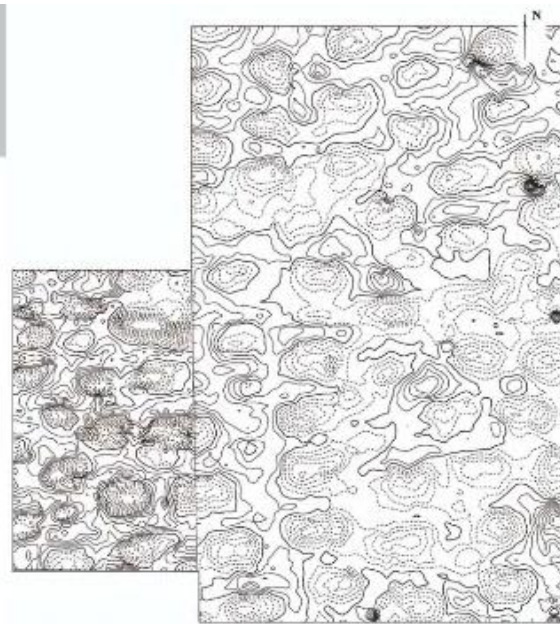
هرم سفالی، که بنای یادبود سفید نامیده می‌شود، با کمک رسانایی سنج الکترومغناطیسی EM31 بی بون با گرادیمتر GSM-19WG توسط تیم اسمکالوا در سال ۱۹۹۷ بررسی شده است. برخی از نتایج پیمایش مغناطیسی در اینجا ارائه می‌شوند. چندین ناهنجاری مثبت (سیاه‌رنگ) در قسمت جنوب غربی تپه وجود دارد (به زیر مراجعه کنید). آن‌ها می‌توانند به عنوان مدرکی در مورد نحوه ساخت بنا عمل کنند. ناهنجاری مثبت طویل مرکزی می‌تواند مسیری به هرم باشد. امکان بررسی با گودبرداری وجود ندارد زیرا منطقه در حال حاضر مسیل شده است.



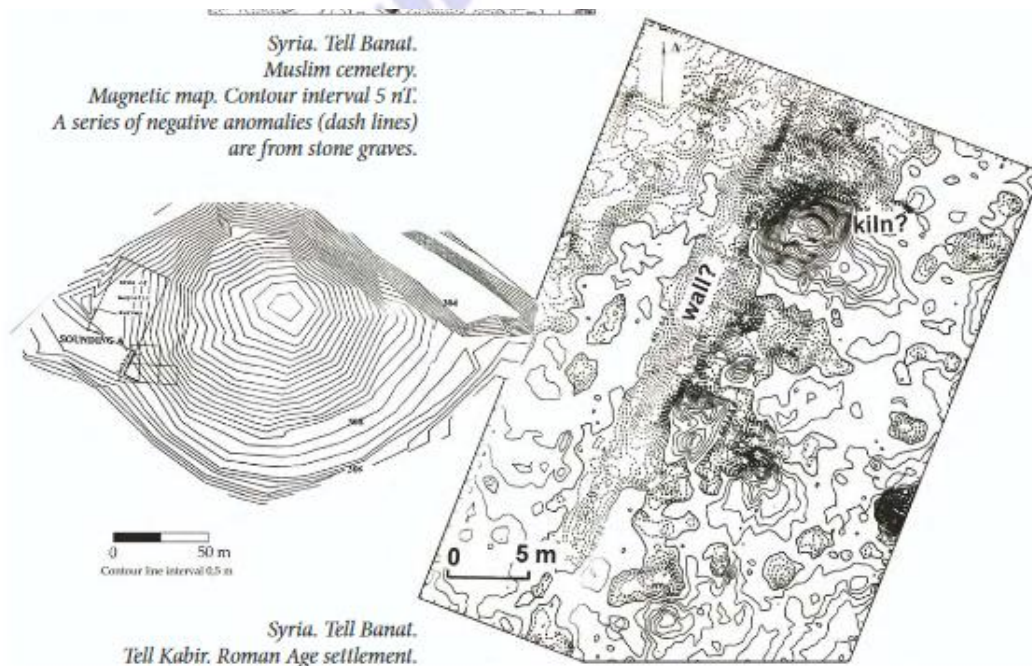
(a) نقشه منطقه سیلابی سد تیشیرین. (ب) محل هرم عصر مفرغ به بنات شمالی و محوطه رومی تل کبیر.



تل بنات شمالی متعلق به عصر برنز. نقشه مغناطیسی بخش جنوب غربی بنای یادبود سفید. منطقه سیاه‌رنگ یک ناهنجاری مثبت است که احتمالاً با مسیری به بنای تاریخی وصل می‌شده است.



منطقه تل بنات در سوریه. نقشه مغناطیسی قبرستان مسلمانان فاصله خطوط تراز ۵ نانوتسلا است. یک سری ناهنجاری های منفی (خطوط تیره) از گورهای سنگی دیده می شود.



منطقه تل بنات و تل کبیر در سوریه. سکونتگاه عصر رومی. نقشه مغناطیسی که ناهنجاری منفی (خط چین) یک دیوار و ناهنجاری مثبت (خط های متصل) متعلق به یک کوره بزرگ را نشان می دهد. فاصله خطوط تراز -۲.۵+ نانوتسلا است. شواهد روشنی از خانه های رومی در تپه تل کبیر وجود دارد. یک ناهنجاری منفی طویل و گسترده ای متعلق به دیوار سنگ آهک، و ناهنجاری مثبت بزرگ محلی وجود دارد که احتمالاً از یک کوره ناشی می شود.

کالیدون، آتولیا- یونان

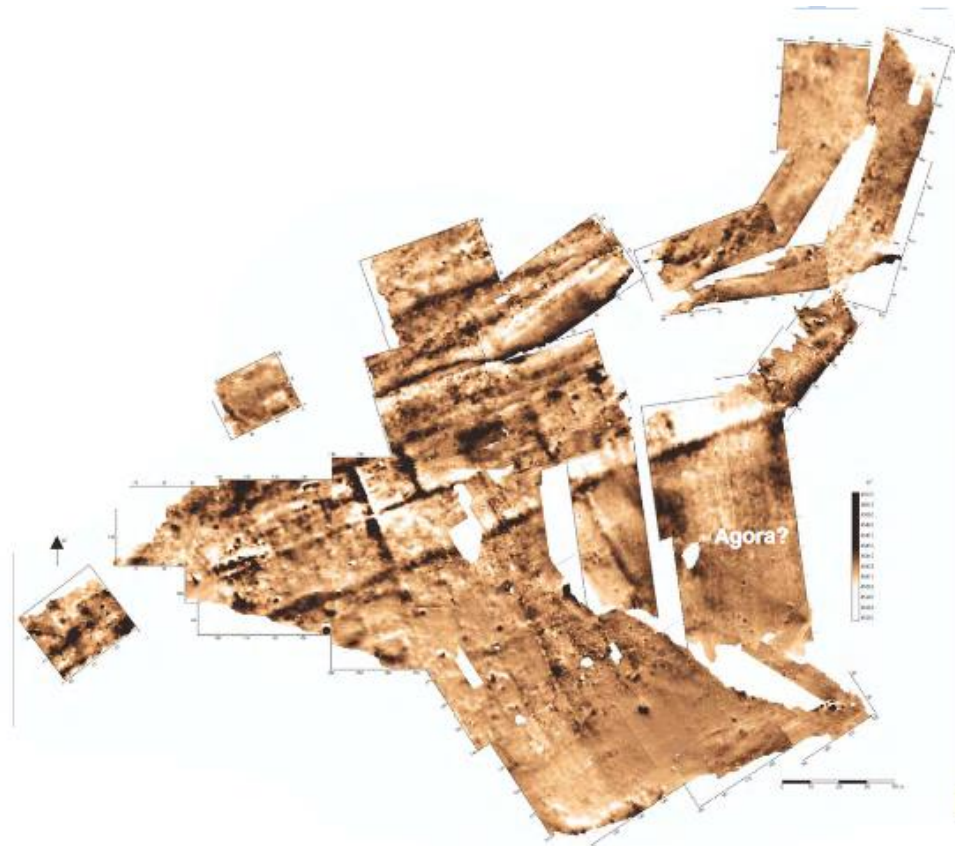


سمت راست: شکار کالیدونیان. از یک نقش برجسته باستانی.

سمت چپ: مدلی از کالیدون که تی اسمکلاوا آن را ارائه داده است.

شهر باستانی کالیدون در ارتباط با اسطوره شکار کالیدونی که در دوران باستانی، کلاسیک، هلنیستی، و احتمالاً در دوران روم و اوایل قرون وسطی وجود داشته، شناخته شده است. باستان شناسان دانمارکی این تحقیقات را از دهه ۱۹۳۰ انجام داده‌اند. این مطالعه از سال ۲۰۰۰، اکسپدیشن کالیدونین تحت هدایت دکتر سورن دیتز بوده است. بنیاد کارلزبرگ از این پروژه حمایت می‌کند.

بررسی‌های مغناطیسی در سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۰۱ بر فراز منطقه بزرگی از کالیدون باستانی انجام شد. یک سیستم برنامه ریزی شعاعی از خیابان‌های پایین شهر، یک معبد و آهنگری در آکروپولیس، کوره‌های سفالگری، و گورستان‌های خارج از دیوارهای شهر همگی آشکار شده‌اند. جالب‌ترین نتیجه این است که سیستم برنامه‌ریزی هیوداموس مستطیلی و یک میدان شهر، آگورا در پایین‌تر ناحیه بین آکروپولیس و تپه جنوبی پیدا شده است (نقشه مغناطیسی را ببینید).

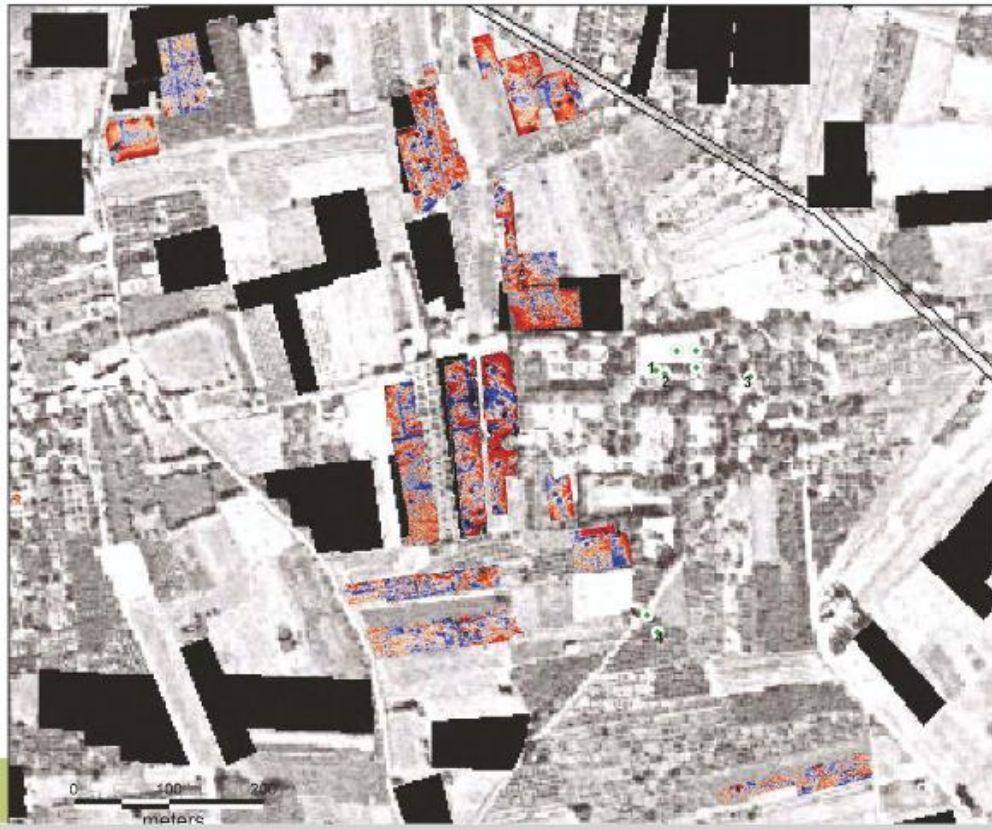


کالیدون. منطقه بین آکروپولیس و تبه جنوبی. نقشه مغناطیسی با مقیاس خاکستری. سیستم مستطیلی هیپوداموس از خیاباها و آگورای احتمالی. خیابان‌هایی که با قطعات کاشی و سرامیک سنگ فرش شده اند، ناهنجاری‌های مغناطیسی مثبت طولی (رنگ تیره) ایجاد می‌کنند.

منطقه نگایی در پلوپونسوس در یونان

بررسی‌های مغناطیسی در مکان باستانی تگا در آرکادیا در پلوپونسوس در سال‌های ۲۰۰۴-۲۰۰۵ تحت هدایت دکتر کانت اودگراد (موسسه نروژی در آتن) انجام شده است. یکی از مهمترین دلایل موفقیت نقشه‌برداری مغناطیسی تگا باستانی این است که خیابان‌ها با قطعات کاشی و سرامیک، سفال و سرباره سنگ فرش شده بودند. همه این مواد بسیار مغناطیسی هستند؛ بنابراین، خیابان‌ها ناهنجاری‌های مثبتی با دامنه‌های ۱۰-۱۰۰ نانوتسلا ایجاد می‌کنند که بستگی به مقدار ماده پوشش‌دهنده و خواص مغناطیسی مواد اطراف دارد. این واقعیت امکان آشکارسازی نقشه کل شهر را با نقشه‌برداری مغناطیسی فراهم می‌کند. خیابان‌ها را می‌توان در میدان‌های مختلف ردیابی کرد، حتی با برخی وقفه‌ها که

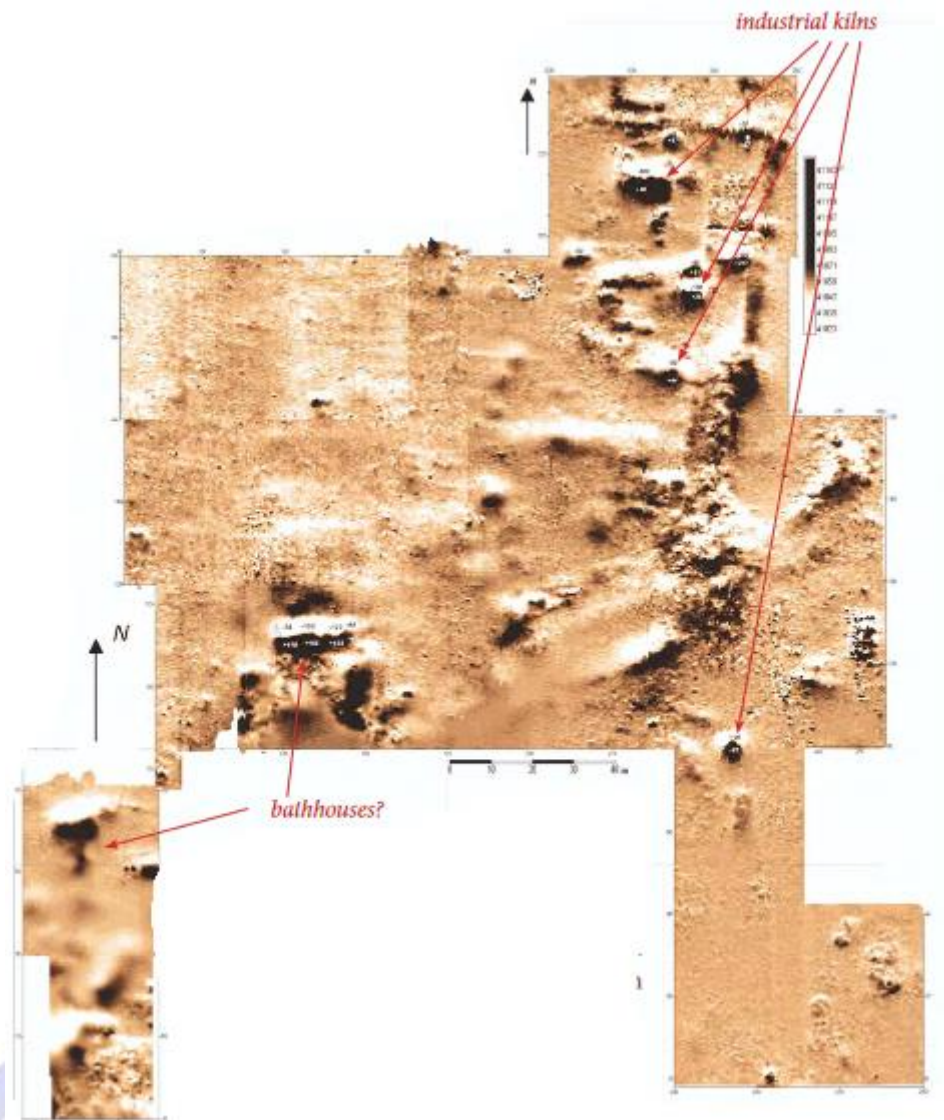
در آن موانعی مانند خانه‌های مدرن یا حصار وجود دارد. تضاد بسیار زیادی از خواص مغناطیسی بین دیوارهای سنگ آهک و سنگ مرمر غیر مغناطیسی و خاک وجود دارد. بنابراین می‌توان ناهنجاری‌های منفی را از روی دیوارها مشاهده کرد.



عکس هوایی با نقشه‌های مغناطیسی از مرکز تگه باستان. ناهنجاری‌های آبی طولی، خیابان‌های مدفون شهر را نشان می‌دهد که با قطعات کاشی و سرامیک سنگ‌فرش شده است. می‌توان سیستم برنامه‌ریزی مستطیلی خیابان‌ها را که قدمت آن‌ها به اواخر دوران باستان و کلاسیک بازمی‌گردد، آشکار کرد. ابعاد ربع مستطیل شکل حدود ۷۵ متر در ۲۵ متر است.

برج‌های رومی تریمیتیس و کلیسای آبادی دخله در مصر

یک محله صنعتی بزرگ در قسمت شرقی شهر تریمیتیس وجود دارد. منطقه صنعتی توسط چهار خیابان محدود شده است که در نقشه مغناطیسی به صورت ناهنجاری‌های طولی مثبت (تاریک) قابل مشاهده است. حداقل هفت یا هشت کوره یا کوره صنعتی در محله صنعتی وجود دارد. انبوهی از بقایای سرباره و خاکستر در انتهای خیابان‌ها، در ضلع شرقی مکان رسوب کرده است.

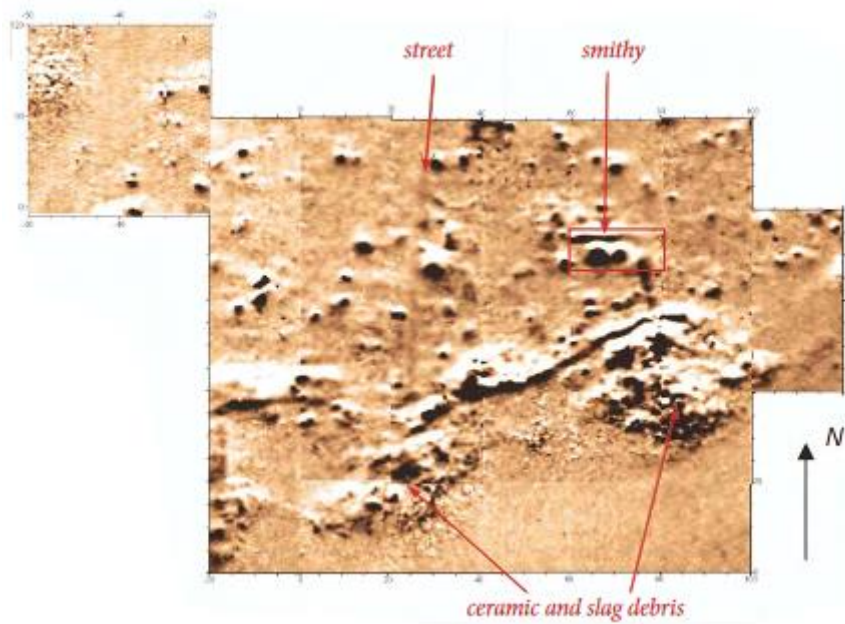


آمهیدا-تریمیتیس باستانی. قسمت‌های شرقی و جنوبی شهر.

نقشه مغناطیسی

احتمالاً یک حمام (یا حتی دو حمام) در قسمت جنوبی شهر تریمیتیس پیدا شده است. این مکان‌ها ناهنجاری‌های مثبت و منفی بزرگ ایجاد می‌کنند. می‌توان آن‌ها را با نقشه مغناطیسی حمام در کلیس مقایسه کرد (به صفحه بعد مراجعه کنید).





عصمانت الخراب - شهر رومی کلیس. نقشه مغناطیسی ۱۹۹۸ و ۲۰۰۵. مناطق تیره نشانگر اجرام به شدت مغناطیسی شده است. این مناطق عمدتاً کوره یا کوره هستند. مناطق وسیعی وجود دارد که پر از زباله ها و سرباره های سرامیکی است که در میدان مغناطیسی به صورت ناهنجاری های پیچیده منعکس می شود. منطقه مشخص شده در ژانویه ۲۰۰۰ حفاری شده است. یک آهنگری با دو کوره در دو اتاق وجود داشته است.



کارگاه سفالگری مدرن در آبادی دخله



نقشه مغناطیسی عثمان الخراب - کلیس باستانی. حمام خانه.



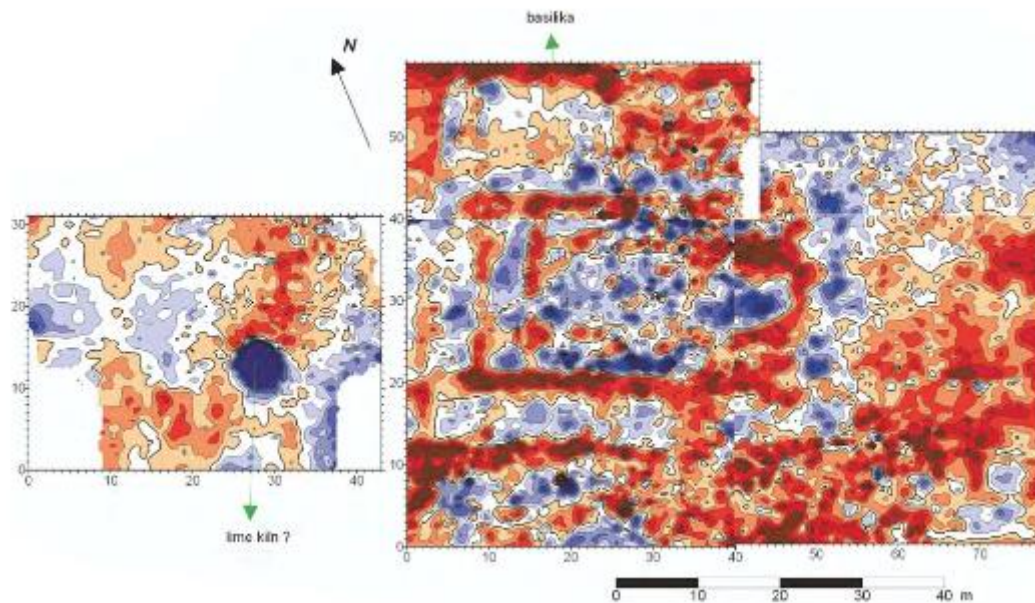
آنتیوک پایتخت روم پیسیدیا و شهر کتاب مقدسی



شهر باستانی انطاکیه پایتخت پیسیدیا رومی بود، منطقه ای در اعماق بخش جنوبی آسیای صغیر.

انطاکیه پیسیدین به دلیل سفرهای سنت پل به عنوان یک شهر کتاب مقدس شناخته شده است. انطاکیه پیسید به طور علمی در ثلث اول قرن نوزدهم کشف شد و کاوشها در آکروپولیس در آغاز قرن بیستم آغاز شد. بررسیهای

مغناطیسی در آکروپولیس مکان انطاکیه پیسیدین در ژوئن ۲۰۰۱ انجام شده است.



عثمان الخراب - کلیس باستانی. حمام خانه. نقشه مغناطیسی

جالب ترین نتایج در ناحیه بین حمام رومی و پوره به دست آمده است. فرض بر این بود که پالتر (ساختمان تربیت بدنی) در شرق حمام رومی واقع شده است (متیشل، ویلکنز، ۱۹۹۸، ص ۱۹۹) اما همانطور که بررسی های مغناطیسی نشان داد، یک بازلیکا در آنجا وجود داشته است که به صورت بسیار واضحی روی نقشه مغناطیسی آشکار شده است. این احتمال وجود دارد که باسیلیکا بر پایه پالیس ساخته شده باشد. شبستان باسیلیکا به سه قسمت تقسیم می شده است. اندازه کلیسا حدود ۲۵ متر × ۵۰ متر (به همراه اسیس مرکزی به قطر ۱۰ متر) است و دو محوطه خارجی: ۴۷ متر × ۵۷ متر و ۵۷ متر × ۵۷ متر داشته است. پلان این کلیسا شبیه نقشه کلیسای بزرگ سنت پل است که در پایین شهر کاوش شده است، اما این کلیسا بزرگتر است (۷۰ متر × ۲۵ متر). بررسی های مغناطیسی نیز در ناحیه بالای حمام رومی انجام شده است. یک ناهنجاری مغناطیسی محلی بسیار قوی در آنجا پیدا شد که منبع آن به عنوان یک کوره بزرگ کاشی یا آهک تعبیر شد. دارای دو کانال موازی است که ابعاد آن تقریباً می باشد. ۴ متر در ۴ متر. بقایای یک کوره دیگر در لبه حفاری های اطراف قابل مشاهده است. این احتمال وجود دارد که هر دو کوره در اوایل قرون وسطی برای تولید مصالح ساختمانی برای بازلیکا ساخته شده باشند.



کلیسای سنت پل. پس از تاشلیلان، ۱۹۹۷.

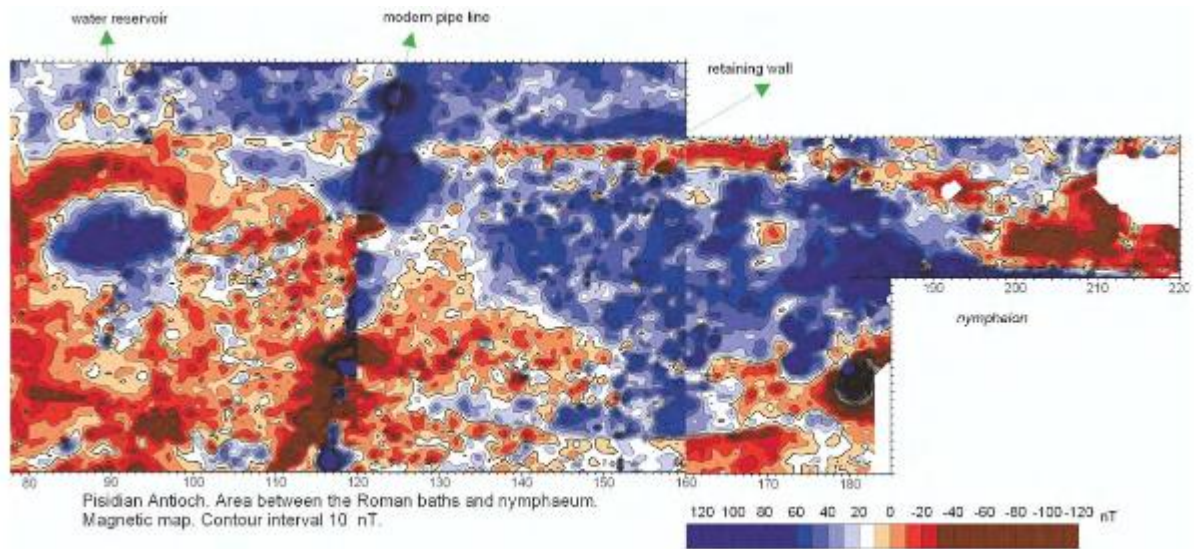
یکی دیگر از اشیای جالبی که در این منطقه کشف شده است، مجموعه ای است که به منبع آب شهر متصل است. این مجموعه از یک مخزن بزرگ آب تشکیل شده است که با دیوارهایی احاطه شده است که از بلوک‌های آهکی ساخته شده‌اند. یک خط لولهٔ سرامیکی آب به طول بیش از ۱۰ متر که از ضلع جنوبی مخزن آب شروع می‌شود، را می‌توان مشاهده کرد. هر بخش از این خط لوله یک سیگنال مغناطیسی مثبت منفی را نشان می‌دهد چرا که در طی گرمایش در یک کور، سفالگری دچار خاصیت مغناطیسی شده است.

محدودهٔ این مجموعه بزرگ آبی تا پوره به طور مصنوعی تسطیح شد و برای این منظور دیوار حائل بلند (طول ۹۰ متر) در ابتدای شیب طبیعی در قسمت شمالی قطعه احداث شده است.

تسطیح خاکی محوطه به منظور داشتن سطح افقی یکسان برای جمع‌آوری آب از قنات و تامین آب شهر باستانی به صورت هدفمند انجام شده است.



خیابانی در انطاکیه پیسید. پس از تاشلیلان، ۱۹۹۷.



نقشه مغناطیسی پیسیدین آنطاکیه. این منطقه بین حمام‌های رومی و نیمفین قرار دارد. فاصله خطوط تراز میدان مغناطیس ۱۰ نانوتسلا است.



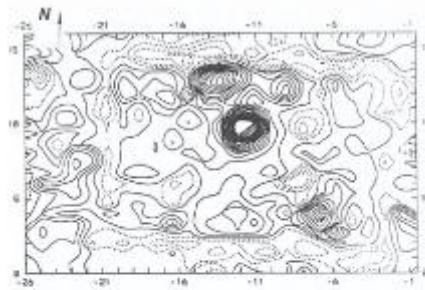
قنات رومی پس از تاشلیلان، ۱۹۹۷.



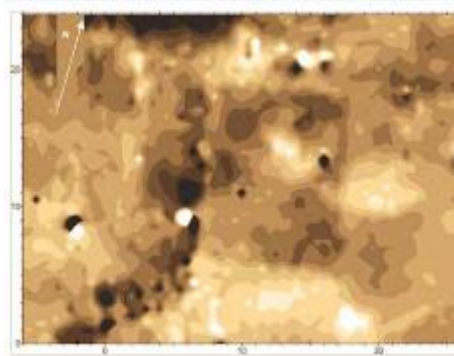
بررسی مغناطیسی در منطقه شرق حمام رومی.

ویلاهای یونانی در کریمه

دیوارهای آهکی غیر مغناطیسی ویلاهای یونان و روم باستان ناهنجاری‌های منفی واضحی ایجاد می‌کنند، زیرا در خاکی با خاصیت مغناطیسی کم قرار دارند. محتویات اتاق‌ها (ظروف سرامیکی بزرگ، گودال‌ها، اجاق‌ها، مخازن و خاک) ناهنجاری‌های مثبت ایجاد می‌کنند. در کریمه، در قلمرو پادشاهی یونان باستان بوسپور در ساحل دریای آزوف، بیش از ۱۵ سکونتگاه و مزرعه با کمک یک مغناطیس‌سنج در طول سال‌های ۱۹۹۲-۲۰۰۵ بررسی شده است.



نقشه مغناطیسی بخش مرکزی یک تاکستان هلنیستی، صخره کورمورانت. فاصله خطوط تراز ۲ نانوتسلا است. ناهنجاری‌های منفی (خط چین‌ها) مربوط به دیوارهای سنگ آهک غیرمغناطیسی است. ناهنجاری‌های مثبت (خط‌های پیوسته) متعلق به پیتوها و گودال‌های داخل ساختمان هستند.



نقشه مغناطیسی مزرعه پستوناج بیگر ۲. فاصله خطوط تراز ۲ نانوتسلا است. خطوط بنای آهکی مستطیل‌شکلی را می‌توان مشاهده کرد.



تایچ کاوش‌های مزرعه پستوناج بیگر ۲ (پس از 2003, Maslennikov A.A., Lomtadtze G.A.).



سکه طلایی بسپور متعلق به قرن چهارم قبل از میلاد. خوشه گندم زیر پاهای گریفین نمادی از غنای گندم در سفر است.

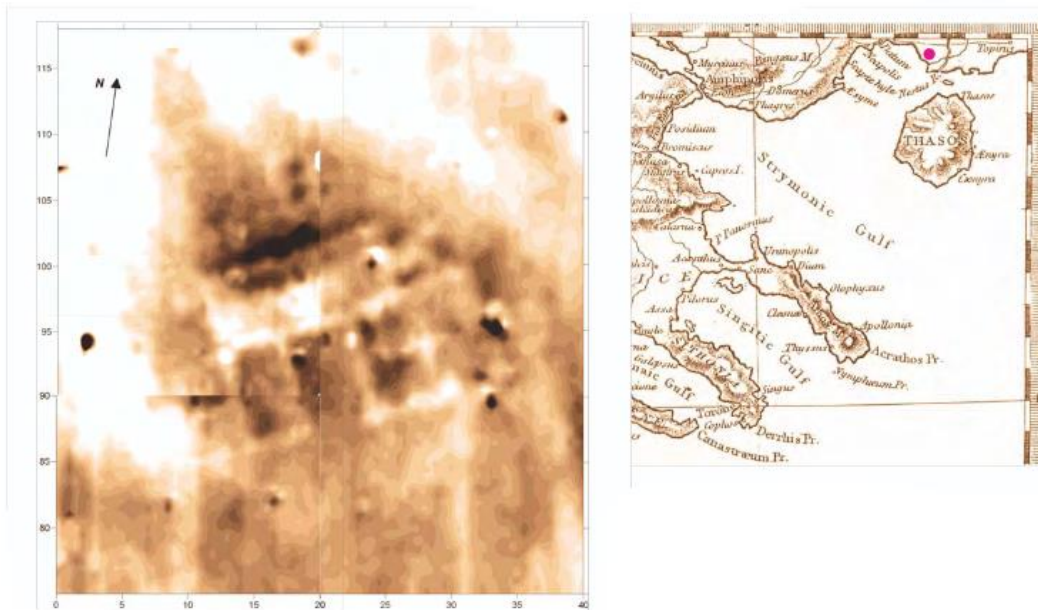
ویلای یونانی پتروپیگی در ماسدونیا، یونان

یک ساختمان بزرگ به وضوح در نقشه مقیاس خاکستری مغناطیسی در قسمت شمالی قطعه قابل مشاهده است (نقشه مغناطیسی را ببینید). این یک سازه سنگی در حدود ۲۵ متر در ۲۵ متر است. دیوارهای بیرونی و داخلی این بنا بر روی نقشه مغناطیسی به صورت ناهنجاری‌های منفی (رنگ سفید) قابل مشاهده است. در داخل ساختمان اشیای مغناطیسی کوچک زیادی وجود دارد. برخی از آنها مربوط به کوره‌های داخل اتاق‌ها هستند، در حالی که برخی دیگر توسط گودال‌هایی ایجاد می‌شوند که با موادی با خاصیت مغناطیسی بیشتر (تکه‌های سرامیک، خاکستر و غیره) نسبت به خاک یا سنگ اطراف پر شده‌اند.

همچنین ناهنجاری‌های مغناطیسی محلی کوچکتری وجود دارد که می‌تواند توسط ظروف سرامیکی بزرگ (پیتوی، آمفورا) ایجاد شده باشد. به دلیل موادی که در سطح آن یافت شده است، می‌توان قدمت بنا را به اواخر دوران رومیان دانست.



پیمایش مغناطیسی در پتروپیک، مقدونیه.



نقشه مغناطیسی با مقیاس خاکستری از ویلای رومی در پتروپیک، در مقدونیه، در ساحل درست روبروی جزیره تاسوس. فاصله کاننور ۲ نانوتسلا است.

ثبت بقایای متالورژی دیرینه

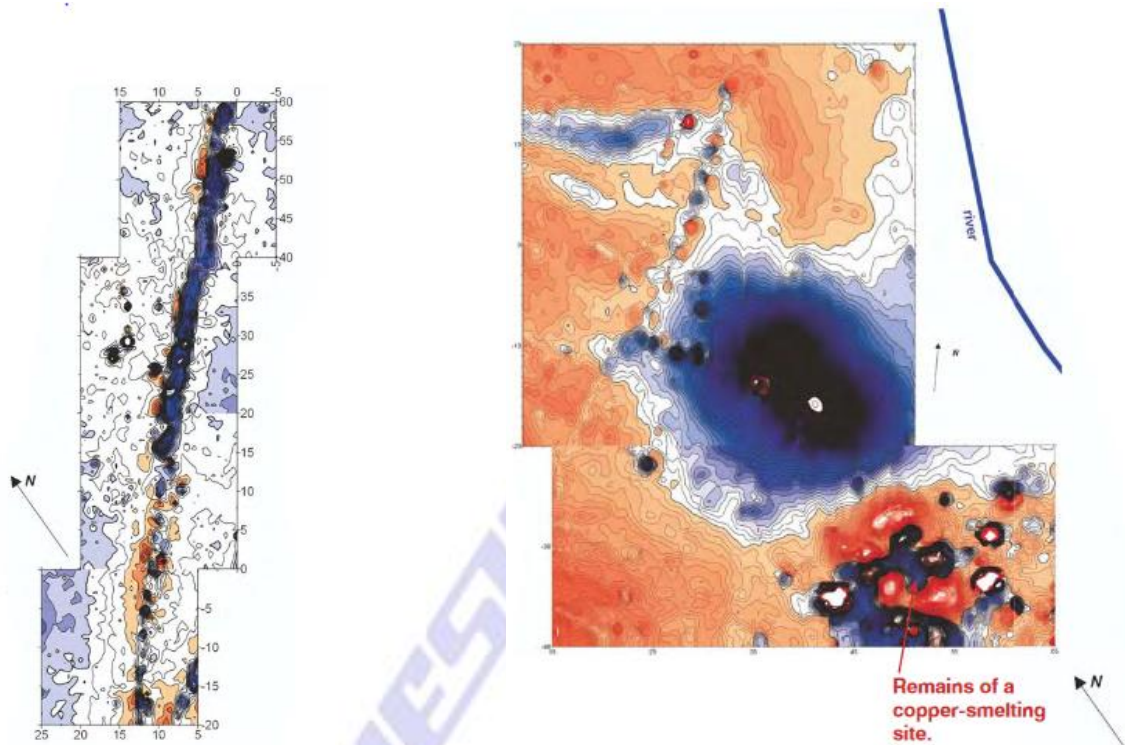
بررسی‌های مغناطیسی برای بررسی مکان‌های ذوب مس قرون وسطایی در منطقه ای در شمال شرقی کوپرفربرگ در استان بایرن آلمان استفاده شده است. سرباره ذوب مس در آنجا بسیار مغناطیسی است. سایر بقایای تولید مس نیز بسیار مغناطیسی هستند: قطعاتی از شفت‌های رسی، سنگ معدن بو داده، گودال‌های پر از خاک پخته شده، خاکستر و غیره.

بنابراین، مغناطیس سنج به راحتی می تواند ناهنجاری های مغناطیسی قوی را در مکان های استخراج مس ثبت کند. مکان ذوب مسی در نقشه مغناطیسی به عنوان گروهی از ناهنجاری های بسیار قوی منعکس شده است. همچنین یک ناهنجاری مثبت قوی و گسترده وجود دارد که می تواند ناشی از ساختارهای زمین شناسی (بدنه ای از سنگ معدن مغناطیسی) باشد. این ناهنجاری در عمق حدود ۱۰ متری شمال مکان ذوب مس، وجود دارد. یک خط طولانی از ناهنجاری های باریک مثبت-منفی، که می تواند یک جاده، یا بخشی از یک خط لوله (؟) باشد، در شمال ناهنجاری بزرگی با منشأ زمین شناسی دیده می شود.

پیمایش مغناطیسی همچنین یک منطقه غیرعادی طولانی را نشان داد که شامل بسیاری از ناهنجاری های مثبت محلی است. می توان آن را به عنوان یک جاده قدیمی پوشیده از سرپاره تعبیر کرد که از یک محل ذوب مس مجاور آورده شده بود تا سطحی از جاده را هموار کند و آن را برای تردد بهبود بخشد.



کوپه درگ در سال ۱۶۵۰.



نقشه مغناطیسی آلت اشملتز در نزدیکی کوپفربرگ. بر فراز جاده‌ای پوشیده شده با قطعات سرباره. فاصله خطوط تراز ۳ نانوتسلا است.

نقشه مغناطیسی اسکالروفیت. فاصله خطوط تراز ۲۰ نانوتسلا است.



نمایندگان مقامات محلی، حامیان مالی و شرکت کنندگان اکسپدیشن، در یکی از سایت‌های ذوب مس در نزدیکی کوپفربرگ.

از سال ۱۹۸۶، هر ساله حفاری‌هایی در محل سکونت آهن کاری اواخر ماقبل تاریخ در کراکولت، در شمال غربی ولز، بریتانیای کبیر توسط پیتر و سوزان کرو انجام می‌شود. این مکان بیش از ۳۰۰ متر بالاتر از سطح دریا قرار دارد و زمین

اکنون دارای چرای ناهموار با مناطق مکرر باتلاق ذغال سنگ نارس است. این منطقه هرگز شخم زده نشده است و مکان‌های باستانی در وضعیت خوبی باقی مانده است. بقایای کوره‌ها و کوره‌های آهنگری وجود دارد که در بیرون آن انبوهی از سرباره‌های آهن کاری وجود دارد. (خدمه، اسمه کالووا، بیوان، ۲۰۰۳)

یک بررسی مغناطیس‌سنج با وضوح بالا بر روی چهار کوره ماقبل تاریخ و یک کوره قرون وسطایی انجام شده است و نقشه‌های دقیقی از سیگنال‌های مغناطیسی آن‌ها تولید می‌کند. از طریق مدل‌سازی ریاضی این نقشه‌ها با استفاده از دوقطبی‌های مغناطیسی، می‌توان جهت مغناطیسی کل را تخمین زد.



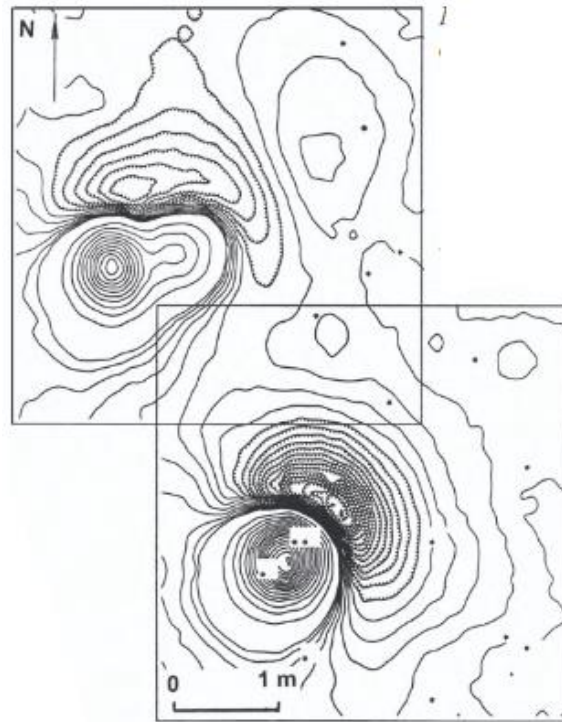
بررسی‌ها بر روی شبکه‌های ۵ سانتی متری و ۱۰ سانتی متری انجام شد.



عکس از کوره کراک‌ولت



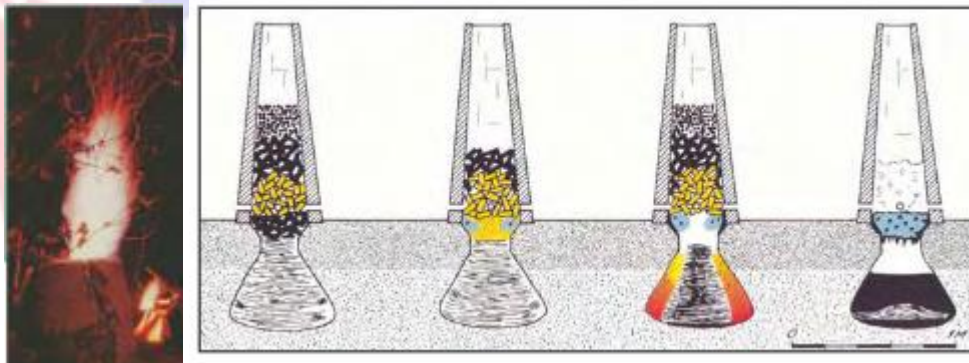
عکس دو کوره در مجاورت یکدیگر.



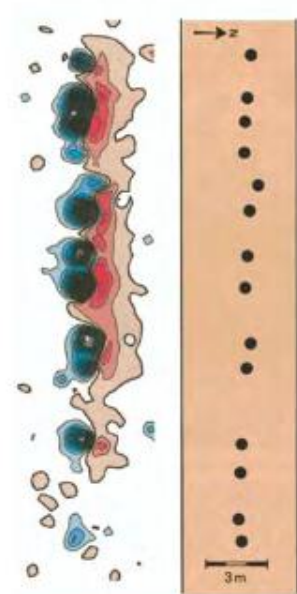
نقشه مغناطیسی روی کوره‌های JSa و b. فاصله کانتور ۱۰ و ۱۰۰ نانوتسلا است. (طراحی شده توسط بروس وی بیون)

مکان‌های ذوب آهن با بلوک‌های سرباره در جنوب غربی یوتلند

کوره‌های ذوب آهن با شفت‌های سفالی و گودال‌های سرباره زیرین به طور گسترده‌ای در سراسر بخش غربی یوتلند بین قرن‌های دوم تا ششم پس از میلاد توزیع شد. در حال حاضر ۱۲۰ مکان ذوب از این دوره جانمایی شده است. کوره‌های این نوع از اواخر هزاره اول قبل از میلاد تا نیمه اول هزاره اول ق در سراسر منطقه وسیعی از اروپا شناخته شده است.



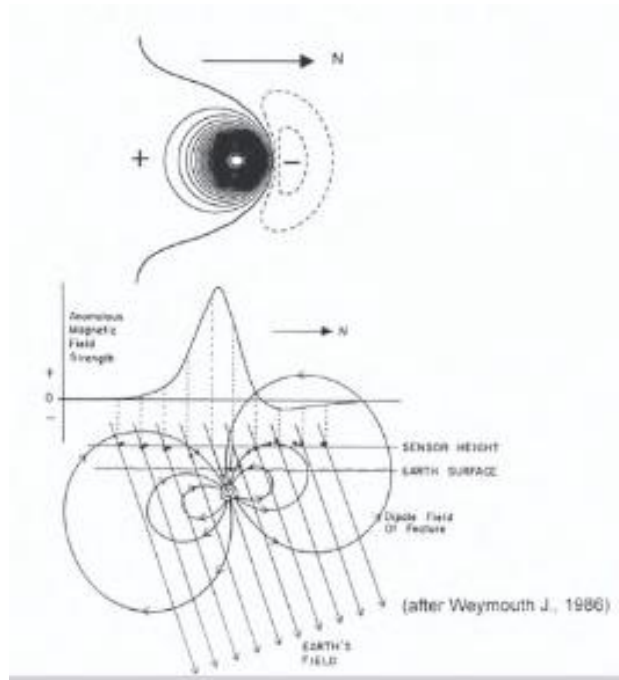
در طی فرآیند ذوب کردن سرباره به داخل گودال زیرین می‌ریخت و در آنجا جامد می‌شد و یک بلوک سرباره ایجاد می‌شد.



بوروس بیون و سرگئی اسمکالوف در حال اندازه گیری
خواص مغناطیسی بلوک‌های سرباره در جنوب غربی
یوتلند در سال ۲۰۰۴ هستند.

سمت چپ: ناهنجاری‌های مغناطیسی را نشان می‌دهد که
در سال ۱۹۹۲ بر روی یک ردیف سرباره در استراپ
پیمایش شده است و نتایج حفاری آنها در سال ۱۹۹۳ به
دنبال بررسی مغناطیسی اندازه گیری شده است.





ناهنجاری دوقطبی مغناطیسی

بلوک‌هایی که به خوبی حفظ شده‌اند دارای وزن متوسط تقریباً ۲۰۰ کیلوگرم هستند. در جنوب غربی یوتلند، بالای بلوک به طور کلی ۳۰-۳۵ سانتی متر زیر سطح بود، که ارتفاع آن از بالا تا پایین گودال ۵۰ تا ۷۰ سانتی متر بود.

مدل فیزیکی - باستان‌شناسی، که توسط نیلز آبراهامسن (۱۹۶۵) در قالب یک دوقطبی نقطه ای (یا یک کره مغناطیسی شده) ارائه شده است، شبیه سازی مغناطیسی عالی از گودال سربراره واقعی نشان می‌دهد.

بلوک‌های سربراره اجسام تقریباً ایده‌آلی را برای اکتشاف مغناطیسی نشان می‌دهند، زیرا توده‌های مغناطیسی بزرگی هستند که در گودال‌های بسیار کم عمق مدفون شده‌اند، که ناهنجاری‌های مغناطیسی قوی چند صد نانوتسلا و در برخی موارد حتی چندین هزار نانوتسلا تولید می‌کنند.

هر گودال سربراره حاصل فرآیند ذوب است. هنگامی که تعداد و وزن بلوک‌های سربراره تعیین می‌شود، می‌توان حجم کل تولید آهن را تعیین کرد. پیمایش مغناطیسی همچنین موقعیت چاله‌های سربراره را نشان می‌دهد. رابطه بین تولید و مناطق زندگی؛ و همچنین سازماندهی فرآیند ذوب را می‌توان با پیمایش مغناطیسی برآورد کرد.



سفری به سایت اسنراپ برای شرکت کنندگان کنفرانس سندبرگ در مورد ذوب مستقیم آهن متعلق به ماقبل تاریخ و قرون وسطی در اسکاندیناوی و اروپا (سپتامبر، ۱۹۹۹). اسنراپ بزرگترین سایت تولید آهن در جنوب غربی یوتلند است. نقشه سایت تولید آهن و روستای عصر آهن. نقاط قرمز روی عکس هوا، گودال‌های سرباره‌ای هستند که توسط حفاری‌ها و بررسی مغناطیسی آشکار شده‌اند.



سمت چپ: اولفرت ووس ردیف حفاری شده بلوک‌های سرباره را ارائه می‌دهد. سمت چپ: توضیح استفاده از شیب‌سنج GSM-19 برای پیمایش‌های مغناطیسی در سایت‌های باستانی ذوب آهن. ۱۸ سپتامبر ۱۹۹۹.



بلوک‌های سرباره کاوش شده در اسنراپ.

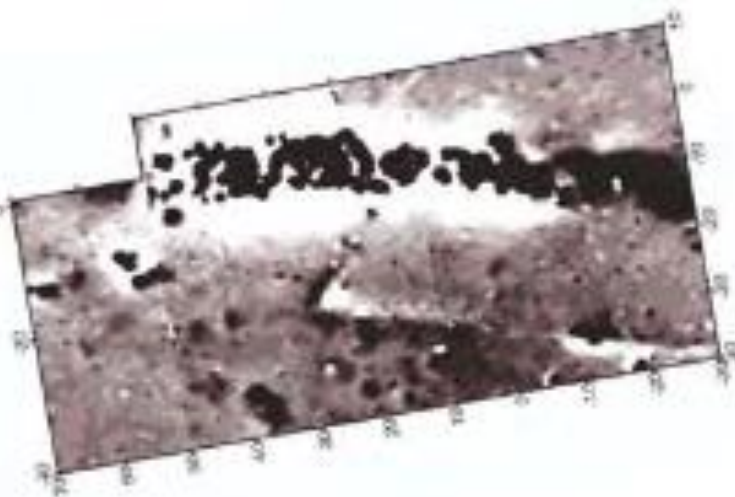




برای درک بهتر سازماندهی تولید آهن در این منطقه، تصمیم بر آن شد تا مکان‌های ذوب آهن در محدوده‌ای به وسعت ۱۰ در ۸ کیلومتر در اطراف اسنورپ مکان‌یابی و بررسی شود.

این کار همچنان ادامه دارد و بررسی‌ها هنوز تکمیل نشده است. با این حال، ۷ مکان جدید پیدا شده است: کراراپ و بیدریک (۱۰۰۰ سرباره به عبارت دیگر)، گادوسنگ (بیش از ۱۰۰۰ سرباره)، هودی (< ۱۰۰۰ سرباره)، هورن (بیش از ۳۰۰ سرباره)، کراراپ شرقی (حدود ۱۰۰ سرباره)، هندسیگ (حدود ۷۰ سرباره).

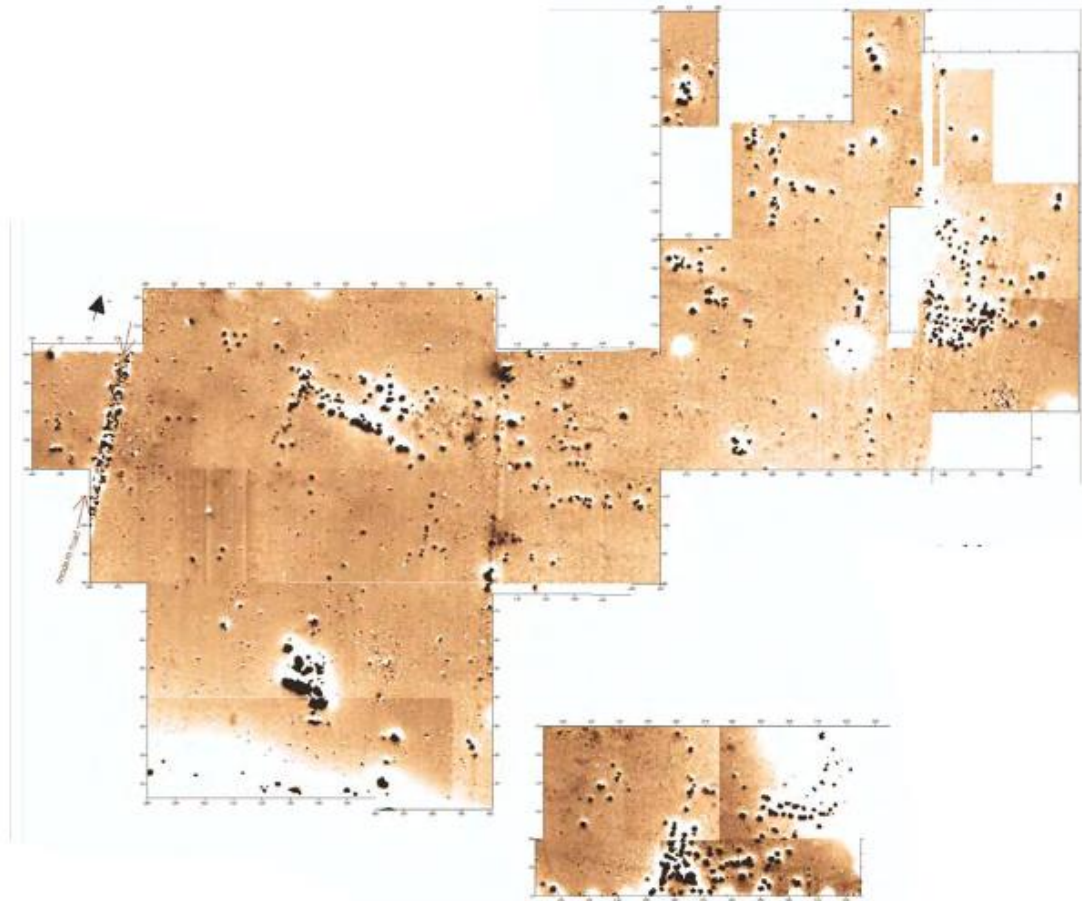
در سال ۱۹۷۵، بخشی از یک سکونتگاه متعلق به عصر آهن در هسل حفاری شده بود، زیرا آثار خانه‌های طولانی روی عکس هوایی دیده شده بود (به سمت چپ نگاه کنید). در سال ۲۰۰۰، یک خوشه بزرگ از بلوک‌های سرباره با پیمایش مغناطیسی در نزدیکی خانه‌های حفاری شده پیدا شد (نقشه مغناطیسی بالا را ببینید)، این بلوک‌ها باید ارتباطی با روستا داشته باشند. یک ترانسه آزمایشی لایه ضخیمی از آثار فرهنگی را در اطراف چاله‌های سرباره نشان داد که هنوز حاوی اطلاعات زیادی در مورد ساخت کوره‌ها و سازماندهی تولید آهن به دست نیامده است. این مورد بسیار نادری است که در آن لایه آثار فرهنگی در اطراف چاله‌های سرباره باقی مانده است.



عکس هوایی از سایت هسل توسط هنس بول ۱۹۷۵ گرفته شده است. موقعیت ناحیه بررسی مغناطیسی با خط چین های زرد نشان داده شده است. در داخل خطوط نقطه چین زرد، نقشه مغناطیسی با مقیاس خاکستری خوشه بزرگ بلوک های سر باره در هسل قرار دارد.

جنوب شرقی یونان – منطقه بزرگ تولید آهن در اواخر عصر آهن روم

به طور معمول، شفت‌های رسی با شخم زدن به طور کامل از بین می‌روند. ما هنوز فقط شواهد کمی در مورد ساخت شفت رسی داریم. این می‌تواند توضیحی باشد برای اینکه چرا بسیاری از آزمایش‌ها با تولید آهن ناموفق بوده‌اند. بنابراین، انجام کاوش‌های دقیق و دقیق این خوشه بلوک‌های سرباره در هسل بسیار مهم است. مکان‌های ذوب آهن اغلب نزدیک به رودخانه‌ها و نهرها هستند. مردم باستان از مناطق مرطوب اطراف خود، سنگ آهن باتلاقی را که برای ذوب آهن ضروری بود جمع‌آوری می‌کردند.



هوده-هسل. نقشه مقیاس خاکستری مغناطیسی قسمت شمالی سایت ذوب آهن و روستای عصر آهن. بلوک‌های سرباره که در نقشه مغناطیسی به صورت ناهنجاری‌های محلی قوی قابل مشاهده هستند، به صورت خوشه‌ای دسته‌بندی می‌شوند. گاهی اوقات خوشه‌ها شکل‌های کشیده‌ای دارند که ممکن است به عنوان ردیف‌هایی از کوره‌ها که در امتداد حصارهای مزرعه ساخته شده‌اند توضیح داده شود.

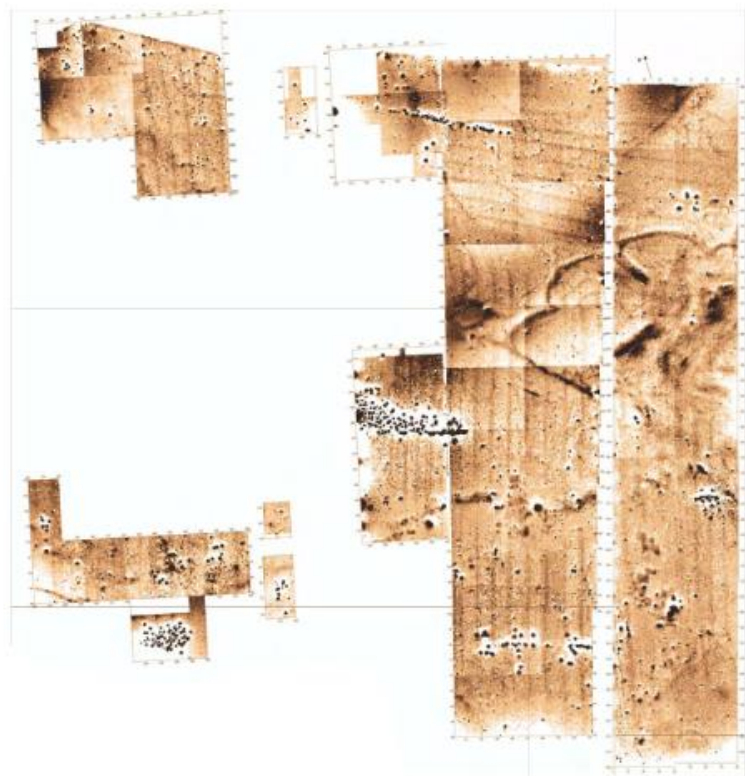
گادسونگ - مکان بزرگ ذوب آهن از اواخر عصر آهن روم مناطق تهی قرون وسطایی

نقشه‌های مغناطیسی حاوی اطلاعات غنی نه تنها در مورد مکان‌های ذوب آهن بلکه در مورد سایر اشیاء باستان‌شناسی نیز می‌باشد. بنابراین، در کنار گروه‌های ناهنجاری‌های محلی قوی از خوشه‌های بلوک‌های سرباره، می‌توان آثاری از میدان‌های نواری قرون وسطایی را در منطقه اطراف گودسوانگ مشاهده کرد، اینها در نقشه مغناطیسی به صورت ناهنجاری‌های مثبت بسیار ضعیف اما منظم و موازی منعکس می‌شوند. آن‌ها به دلیل پر شدن مغناطیسی گودال‌های بین هر میدان که به عنوان مرز عمل می‌کردند ایجاد می‌شوند. این خندق‌ها به تدریج با خاک سطحی پر شدند که بیشتر از خاک زیرین مغناطیسی است. جالب است بدانید که منظومه میدان‌های قرون وسطی در قسمت جنوبی مکان جهت شمال به جنوب و در قسمت شمالی جهت شرق به غرب دارد. در مکان‌های دیگر در اسنراپ، بیدریک و جاهای دیگر در یوتلند - ما همان ناهنجاری‌های مغناطیسی مثبت ضعیف را از میدان‌های قرون وسطایی مشاهده کرده ایم.



عکس هوایی از گادسونگ.

خانه‌های طویل عصر آهن را می‌توان با ناهنجاری‌های مثبت ضعیف از مواد مغناطیسی در پست‌چاله‌های بزرگ و همچنین از مواد مغناطیسی شومینه‌ها آشکار کرد. ما چنین ناهنجاری‌هایی را در کراراپ، گادسونگ، اسنراپ و دیگر سکونتگاه‌های عصر آهن ثبت کردیم. خانه‌های گودال نیز ناهنجاری‌های مثبت محلی نسبتاً ضعیفی را به ما می‌دهند.

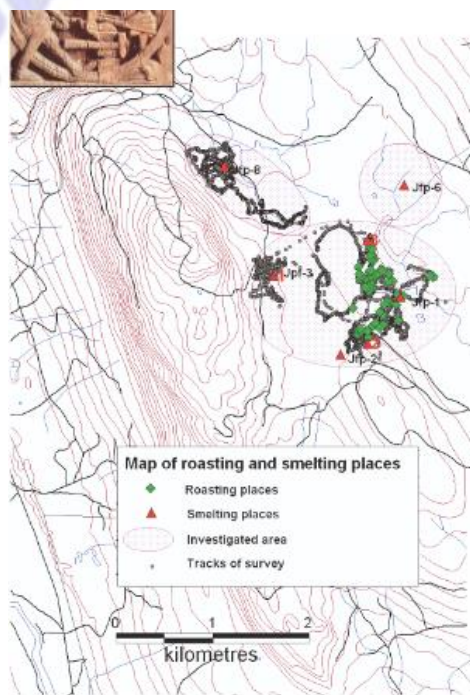


نقشه مغناطیسی منطقه گادسونگ در جنوب غربی یوتلند، دانمارک.
ناهنجاری‌های مثبت تیره و ناهنجاری‌های منفی سفید هستند.

تولید آهن در نروژ در اوایل قرون وسطا

یکی از بزرگترین پروژه‌های باستان‌شناسی نروژی به بررسی یک منطقه بزرگ (۲۲۸ کیلومتر مربع) از زمین‌های جنگلی در نزدیکی شهر رنا اختصاص یافته است که در آن باتلاق‌های گسترده‌ای نیز وجود دارد. بخش عمده آثار باستانی مربوط به دوره قرون وسطی اولیه (حدود ۱۰۰۰ تا ۱۳۰۰ میلادی) و مربوط به فرآیند استخراج آهن است. برای بررسی

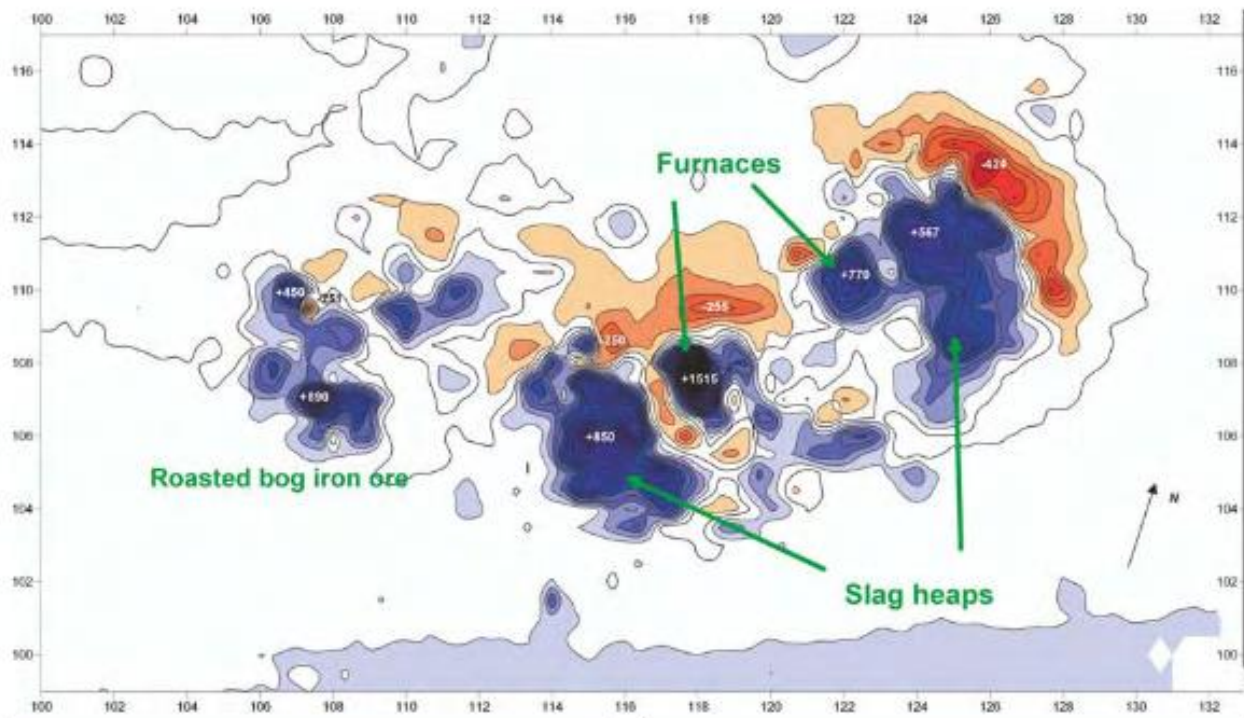
چنین منطقه بزرگی و آشکارسازی هر چه بیشتر اشیاء باستان‌شناسی، روش خاصی ایجاد شده است که ترکیبی از استفاده از GPS (سیستم موقعیت یابی جغرافیایی) و مغناطیس‌سنجی بود. بررسی‌های مغناطیسی در طول پنج فصل به صورت میدانی در گریف گل استفاده شده است. آن‌ها ثابت کردند که روش میدانی بسیار موثری برای یافتن بقایای آثار باستانی حاصل از تمام مراحل تولید آهن هستند: از برشته کردن سنگ آهن باتلاقی تا استخراج و تصفیه آهن. بررسی‌های مغناطیسی به آشکارسازی اشیایی که روی سطح دیده نمی‌شدند کمک کرد. به این ترتیب شش مکان ذوب جدید در مناطقی که قبلاً بررسی‌های باستان‌شناسی بصری انجام شده بود، پیدا شده است. اما مهم‌ترین نتایج بررسی‌های مغناطیسی در این منطقه در مکان‌هایی آشکار بود که مردم باستان سنگ آهن باتلاق را بو داده بودند. این مکان‌ها در سطح قابل مشاهده نیستند و تنها راه پیدا کردن آن‌ها این است که با یک مغناطیس‌سنج در جنگل قدم بزنید، آزادانه راه بروید و میدان مغناطیسی را به‌طور مداوم اندازه‌گیری کنید. هنگامی که ناهنجاری‌های مغناطیسی قوی پیدا شد، آن‌ها با یک ابزار حفاری کوچک و یک آهنربای دستی بررسی شدند و مختصات GPS چنین مکان‌های برشته‌ای ثبت شده است. نقشه موقعیت مکان‌های بو دادن سنگ آهن باتلاقی اطلاعات مهمی در مورد سازماندهی تولید آهن در دوران باستان به دست می‌دهد.





منطقه انبوه سنگ برشته شده باتلاق

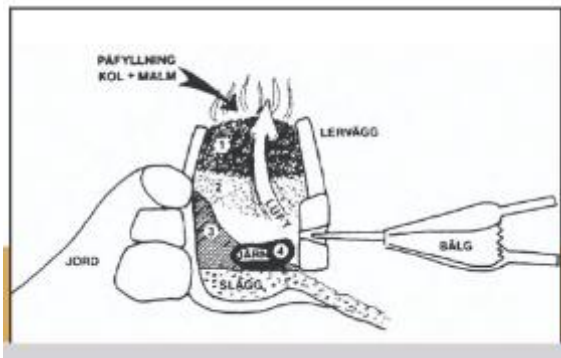
جایی که مکان‌های ذوب آهن جدید پیدا شد، اندازه گیری‌های مغناطیسی دقیق با استفاده از یک سیستم شبکه مختصات انجام شده است. نقشه مغناطیسی دقیق محل دقیق کوره‌ها و توده‌های سرباره در مکان و همچنین محل انبوه سنگ آهن باتلاق برشته شده را نشان می‌دهد.



نقشه مغناطیسی یک سایت جدید ذوب آهن #S240 که با کمک مغناطیس سنج پیدا شد. در این سایت دو کوره و دو کپه سرباره وجود داشت. فاصله خطوط تراز ۵۰ نانوتسلا است.



نقشه برداری مغناطیسی جزئیات یک شبکه مختصات.



توضیح فرآیند استخراج آهن



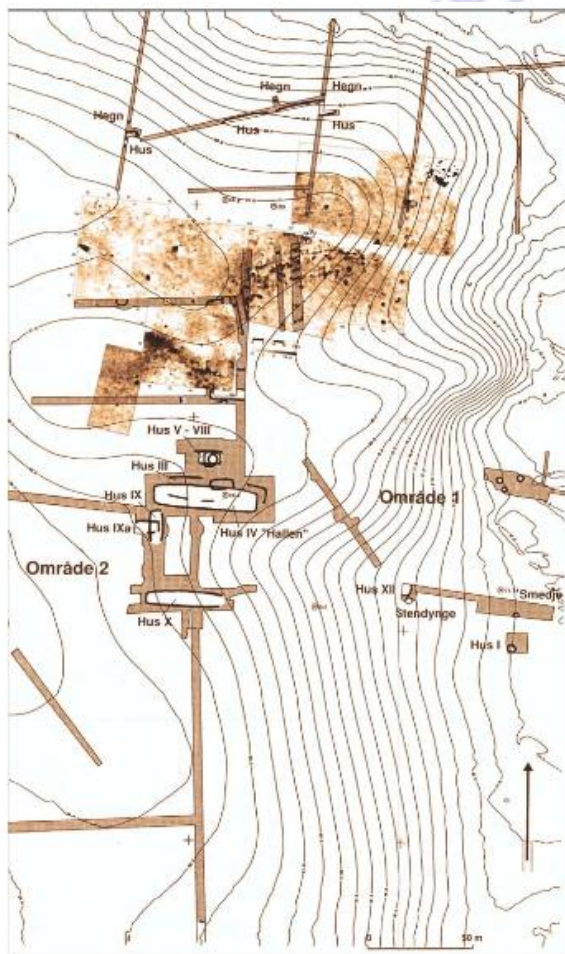
فرآیند استخراج آهن

اردوگاه‌ها - مرکز مهم متعلق به عصر وایکینگ‌ها در زیالند - دانمارک

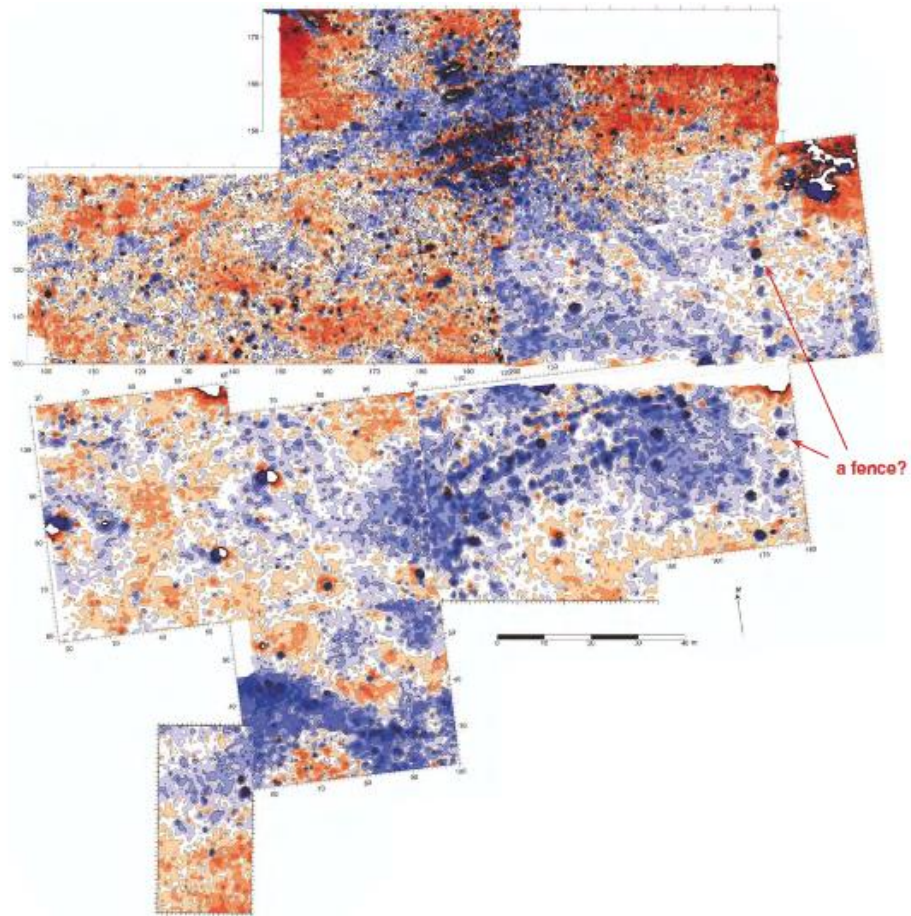
عصر وایکینگ آخرین دوره پیش از تاریخ دانمارک است. آغاز آن جایی در قرن هشتم است. لجر، واقع در مرکز نیوزلند، مرکز مهمی در عصر وایکینگ‌ها بود.

مهم ترین نتیجه کاوش‌ها آشکار شدن خانه بزرگی بود که خانه چهارم یا هالن نام داشت. ابعاد آن به طول ۴۸.۵ متر و عرض ۱۱.۵ متر احتمالاً امکان تجمع افراد زیادی را فراهم می کرد و مانند یک کاخ وایکینگ‌ها بود (تی کریستسنسن ۱۹۸۵). دیوارهای خانه را خندقی نشان می دهد که با ردیفی از سوراخ‌های پست بزرگ احاطه شده است. دو ردیف سوراخ در داخل خانه برای ستون‌هایی که سقف را نگه می داشتند وجود دارد. یک شومینه در قسمت غربی خانه و نزدیک به مرکز آن قرار دارد. یک جعبه انبار در گوشه جنوب شرقی ساختمان پیدا شد. چهار ورودی به خانه وجود دارد: دو در هر طرف.

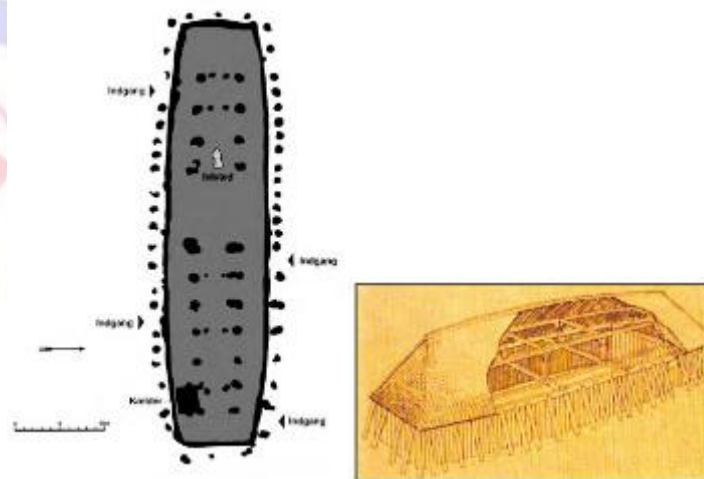
هدف از پیمایش مغناطیسی تلاش برای آشکار کردن سایر اشیاء باستان‌شناسی در منطقه شمال خانه بزرگ هالن بود. پیمایش مغناطیسی دو ساختار واضح را نشان داد. اولین مورد، ناهنجاری است که شکلی مستطیل در وسط ناحیه مورد بررسی نشان می‌دهد. این سازه را می‌توان به عنوان یک خانه طولانی بزرگ، یا بهتر است بگوییم دو یا چند فاز از دیوارهای خانه‌های احتمالی، که برای مدت زمان طولانی در مکانی وجود داشته، تعبیر کرد. خانه احتمالی حدود ۵۰-۵۱ متر طول و حدود ۱۰-۱۱ متر عرض دارد و تقریباً مشابه خانه IV یا هالناست. دیوارهای "خانه‌ها" در میدان مغناطیسی به عنوان یک سری ناهنجاری‌های مثبت محلی منعکس می‌شوند که در کنار یکدیگر قرار گرفته اند و ساختارهای خطی منحنی را تشکیل می‌دهند. برخی از ناهنجاری‌های محلی نسبتاً قوی هستند و در چنین مواردی ممکن است سنگ‌هایی در سوراخ‌ها وجود داشته باشد.



نقشه‌ای که در آن کاوش‌های لجر را با نقشه مغناطیسی ادغام شده است.



لجر. نقشه مغناطیسی فاصله کانتور ۲ nT. خانه احتمالی به عنوان گروهی از ناهنجاری‌های مثبت محلی قابل مشاهده است. ابعاد خانه احتمالی حدود ۵۰-۵۱ متر طول و حدود ۱۰-۱۱ متر عرض است.



سمت راست: مدلی از یک خانه طویل از عصر وایکینگ ها (پس از استیگ جنسن، ۱۹۹۱، ص ۶۷).

سمت چپ: خانه IV یا هالن حفاری شده (پس از تی کریستنسن، ۱۹۹۱).

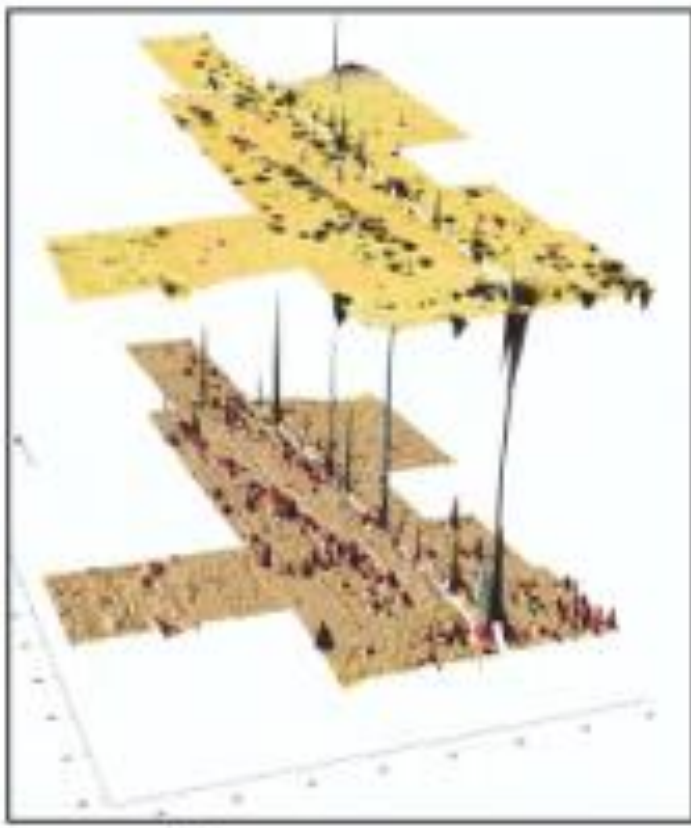
مکان‌های متعلق به عصر وایکینگ‌ها



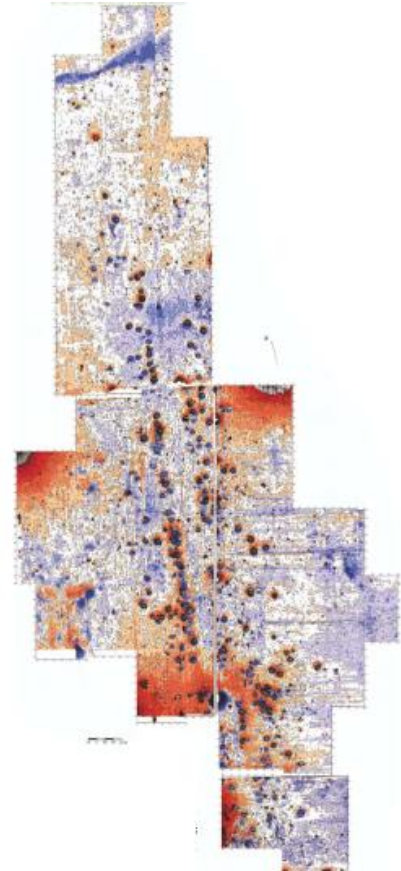
پیمایش مغناطیسی در منطقه هنری کیت بری.

بررسی‌های مغناطیسی روشی بسیار برای مکان‌یابی گودال‌های عصر وایکینگ‌ها، که نسبتاً متعدد در سکونتگاه‌های اطراف یوتلند غربی هستند، مؤثر بود. در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵، سه شهرک بررسی شدند: هنه کرکبی، نور فاروپ و استنوم کرکه. همه این مکان‌ها در مناطق نزدیک به دریا و در حاشیه رودخانه‌ها یا آبدرده‌ها قرار گرفته‌اند، بنابراین دسترسی آسانی به دریا داشتند. همچنین جالب است که این سکونتگاه‌ها در نزدیکی کلیساها قرار گرفته‌اند که جوان‌تر از سکونتگاه‌ها هستند.

در هنه کرکبی، پیمایش مغناطیسی بیش از ۲۰۰ گودال را نشان داد که در دو طرف خیابان به طول بیش از ۳۶۰ متر واقع شده‌اند (فراندسن ۲۰۰۵).



هنه کرکبی. نقشه پرسپکتیو مغناطیسی



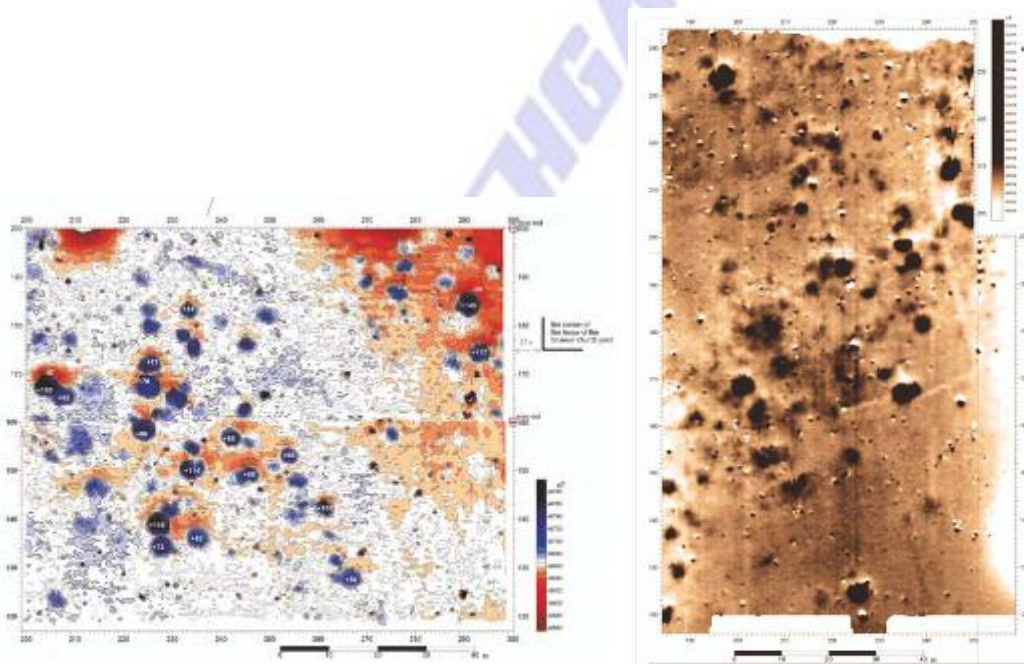
هنه کرکبی. نقشه مقیاس خاکستری مغناطیسی.
ناهنجاری‌های مثبت موضعی (تاریک) توسط
بیت هاوس ایجاد می‌شود.

با پیتوهاوس نورو فاراپ (در نزدیکی ریب، قدیمی‌ترین شهر دانمارک)



پیمایش مغناطیسی این سکونتگاه‌ها ناهنجاری‌های محلی قوی را از گودال‌های مختلف نشان داد که بسیاری از آن‌ها کارگاهی بودند. بسته به ویژگی کارگاه، سیگنال‌های مغناطیسی گودال‌ها می‌تواند ضعیف‌تر (برای کارگاه‌های بافندگی) یا قوی‌تر (برای آهن‌گرها یا ریخته‌گری‌ها) باشد.

نقشه برداری مغناطیسی روشی بسیار موثر در آشکارسازی پلان سکونتگاه‌های عصر وایکینگ‌ها، تعیین موقعیت دقیق هر گودال یا کارگاه و تکمیل عکس‌های هوایی گرفته شده از سکونتگاه‌ها است.



سمت راست: نور فاروپ. نقشه مقیاس خاکستری مغناطیسی. ناهنجاری‌های محلی تیره ناشی از پیت هاوس ها
سمت چپ: پیت هاوس ها ناهنجاری‌های مثبت (رنگ آبی) با مقادیر مختلف ایجاد کردند - از ۲۰ تا ۱۸۰ نانوتسلا.



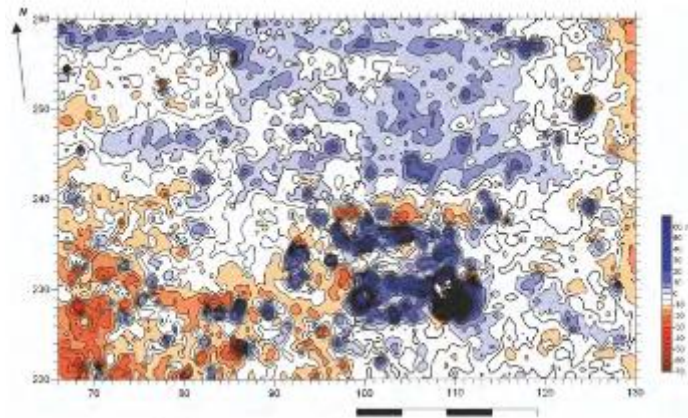
سنوم کرکه. نقشه مغناطیسی فاصله کانتور ۵ نانوتسلا.

پیمایش‌های مغناطیس‌سنجی در باستان‌شناسی قرون وسطایی دانمارکی

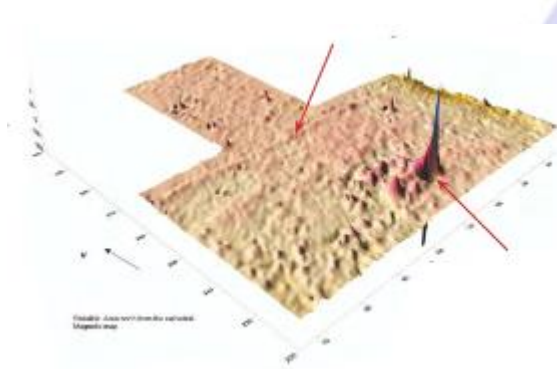
نتایج مهمی در میدان، پرووستگالن، شمال کلیسای جامع راسکیدل به دست آمده است. طبق نقشه رسن در دهه ۱۶۷۰، که در جایی در وسط قطعه، درست در شمال اسکت، به دو خیابان تقسیم می‌شد، خیابانی عریض وجود داشت حیاط کلیسای هانس همانطور که نتایج پیمایش مغناطیسی در سال ۲۰۰۳ نشان داد، یک ساختمان مهم در فاصله ۳۵ متری شمال اکست قرار دارد. کلیسای هانس این بنای مستطیل شکل (۱۰ متر در ۱۲ متر) است که دیوارهای آن احتمالاً روی شالوده‌ای سنگی یا آجری از آجر ساخته شده است. این احتمال وجود دارد که این بنا دارای سرداب بوده باشد. یک شی جالب آهنی در گوشه جنوب شرقی بنا قرار دارد. و می‌توان آن را به ساختمان آجری متصل کرد. این ساختمان دارای دیوارهای سنگین بود و می‌توان شباهت‌های خاصی را در معماری و مصالح ساختمانی با برج قلعه نبه مشاهده کرد (به صفحه بعدی مراجعه کنید).



بررسی مغناطیسی در بخش بزرگی از پرووستگنت، در جنوب بایراکا انجام شده است.



راسکیدل. منطقه ای در شمال کلیسای جامع. نقشه مغناطیسی فاصله خطوط تراز ۵ نانوتسلا است.



نقشه پرسپکتیو مغناطیسی منطقه شمال اسکت. کلیسای هانس

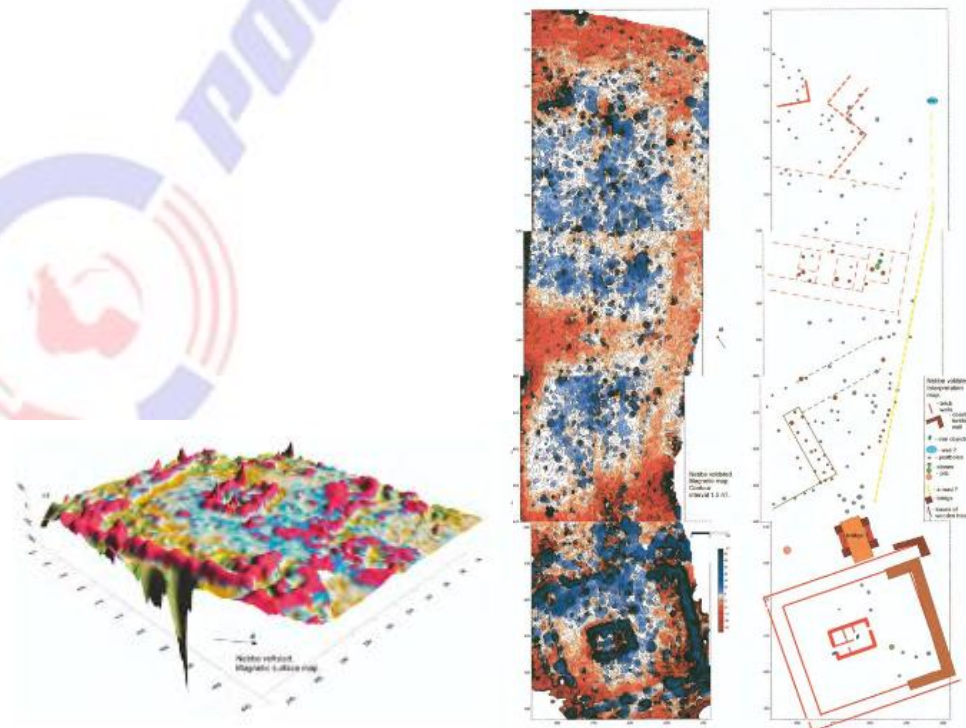
قصر نبی



این منطقه قلعه نبی از سه تپه کم ارتفاع تشکیل شده است. برای همه آنها نقشه برداری مغناطیسی (نمای شمال) انجام شده است.

قلعه نبی در شمال غربی روسکیدل در نزدیکی هرسلو در مسیر بین خلیج کاتینگ و دریاچه استورکاتینگ واقع شده

است. بررسی‌های مغناطیسی یک محوطه مربع شکل و یک برج مستطیل شکل را در وسط جنوبی ترین تپه نشان داد. این قسمت مرکزی مکان است که از آن دفاع شده است. ابعاد این برج تقریباً ۱۱.۵ در ۸ متر است. دیوارهای ضخیم آجری، احتمالاً با پایه‌های سنگی و یک سرداب داشت. چندین شیء بسیار قوی در داخل برج وجود دارد که ممکن است سنگ‌های بزرگ یا اجسام آهنی باشند. این محوطه دارای شکل مربع و ابعاد تقریباً ۴۰×۴۲ متر است. از یک دیوار آجری دوتایی تشکیل شده است. فاصله بین دیوارهای داخلی و خارجی حدود ۴ متر است. قسمت ساحلی محوطه (ضلع شرقی) از مصالح محکم تری (سنگ و آجر) ساخته شده بود. در دره بین دو تپه یک ناهنجاری مثبت کاملاً بزرگ وجود دارد که می‌توان از آن به پلی تعبیر کرد که تکیه گاه‌های آن از سنگ و آجر ساخته شده است. در تپه بعدی، احتمالاً از آثار سازه‌های چوبی در شمال پل، ناهنجاری‌های دیگری نیز دیده می‌شود. یک سازه جالب در شمالی ترین قسمت طرح پیمایش مغناطیسی قرار دارد. دارای یک سیگنال مغناطیسی مثبت قوی است که یک زاویه قائمه را تشکیل می‌دهد. برج و محوطه را می‌توان تا حدودی به همان روشی که برای قلعه فالسترب‌هاوس در اسکانی انجام شد، شناسایی کرد.



نقشه سه بعدی مغناطیسی قلعه نبه.

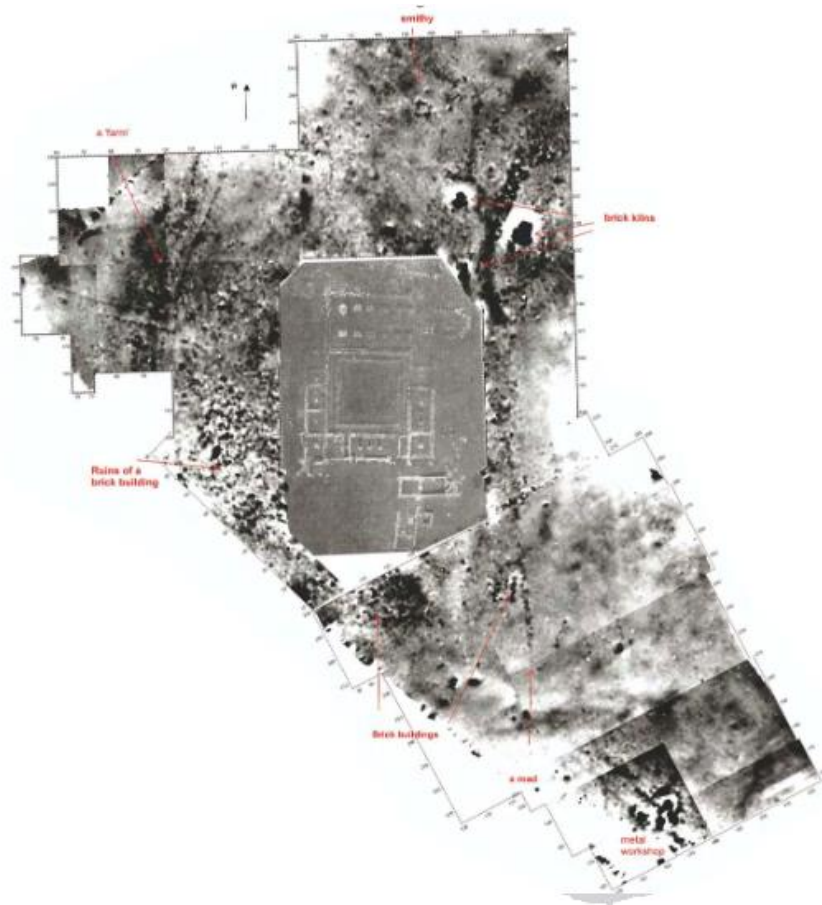
ایلهوت - یکی از بزرگ‌ترین صومعه‌های آگوستین دانمارک

در اواخر دهه ۱۹۳۰ و ۱۹۴۰، کاوش‌های باستان‌شناسی طرح کلی مجموعه صومعه و محل دفن گسترده آن را نشان داد. ساختمان‌های صومعه، متعلق به قرن سیزدهم تا چهاردهم، با آجر قرمز روی پایه‌ای از تخته سنگ‌های گرانیتی بزرگ ساخته شده‌اند. آن‌ها از طرح چهار بال سنتی پیروی می‌کنند، جایی که ساختمان مرتفع کلیسا بال شمالی را تشکیل می‌دهد تا نور از بال‌های دیگر گرفته نشود.

امروزه صومعه ایلهوت (کلستر) در میان مزارع شخم زده قرار دارد و می‌توان از آنچه شناخته شده محافظت کرد در حالی که ناشناخته به آرامی و پیوسته با کشت از بین می‌رود.

از نتایج بررسی‌های مغناطیسی می‌توان برای محافظت از ناحیه وسیع تر اطراف صومعه استفاده کرد. در طول دو فصل (۲۰۰۲ و ۲۰۰۳) بررسی‌های مغناطیسی بر روی مناطق کاوش نشده در ایلهوت کلاستر انجام شده است. مساحت واقعی صومعه به نظر بسیار بزرگتر از منطقه حفاظت شده است. با کمک بررسی‌های مغناطیسی در بخش شمالی منطقه، می‌توان یک مزرعه، یک منطقه صنعتی شامل کوره‌های بزرگ، کوره‌ها و یک ساختمان مربع کوچک آجری (یک آهنگری؟)، کانال، ساختمان بزرگ آجری غربی و اشیای مهم دیگر بخش شمالی را آشکار کرد. در جنوب صومعه یک بنای آجری مربع (که می‌تواند آسیاب آبی یا آهنگری باشد)، یک ساختمان بزرگ از چوب و آجر، دو یا سه راه، یک کارگاه بزرگ فلزی، یک حوض و یک خندق با کمک بررسی‌های مغناطیسی پیدا شده است. مناطق غیرعادی مغناطیسی را بهتر است با استفاده از حفاری کاوش کرد.





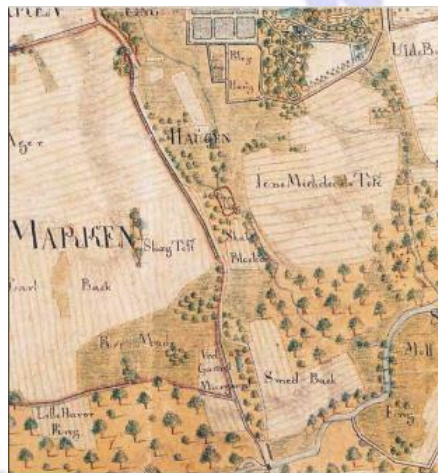
بررسی مغناطیسی در منطقه اطراف ایلبخت کلاستر.

موسگارد. اسمد بک – «اسمیتی هیل»

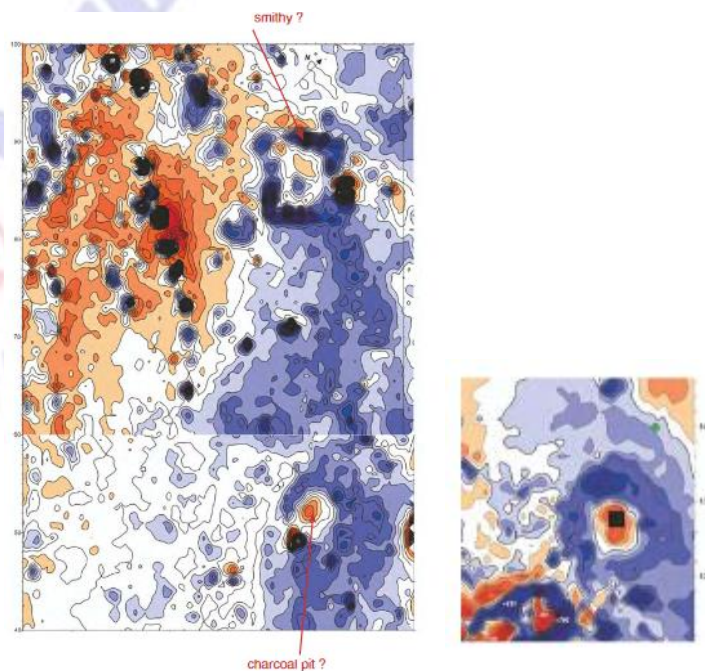
تاریخچه کامل موسگارد به سال ۱۳۰۰ برمی گردد. در نقشه سال ۱۷۸۳، تپه مقابل گامل موسگارد اسمد بک نامیده می شود که به معنای تپه اسمیت است. پیمایش مغناطیسی سال ۲۰۰۱ (نقشه مغناطیسی زیر را ببینید) یک ساختمان مستطیل شکل با ابعاد بیرونی ۷ متر × ۱۰ متر را نشان داد که می توان آن را به عنوان آهنگری قدیمی تعبیر کرد. این ساختمان تنها یک اتاق دارد که در وسط آن یک ناهنجاری مغناطیسی مثبت وجود دارد - آثار احتمالی یک فورج و غلظت مقیاس چکش از سندان. دیوارهای این ساختمان در میدان مغناطیسی با ناهنجاری های مثبت بسیار واضح و نسبتاً قوی (تا ۷۰ نانوتسلا) منعکس می شوند.

ورودی آهنگری از دیوار جنوب غربی است. در خارج از ساختمان سه گودال پر از مواد مغناطیسی (خاکستر یا سرباره) وجود دارد که می تواند زباله های آهنگری باشد.

یک شی آهنی در بیرون، نزدیک به دیوار پشتی قرار دارد که می تواند سندان پنهان (؟) باشد. ردیفی از اشیاء کوچک و نسبتاً مغناطیسی وجود دارد که می تواند سنگ های گرانیت یا تکه های سرباره باشند که در امتداد جاده قدیمی قرار گرفته اند که روی سطح قابل مشاهده نیست. یک ناهنجاری منفی محلی در جنوب آهنگری وجود دارد که می تواند به عنوان یک گودال زغال چوب تعبیر شود. ما ناهنجاری های مشابهی را در مورد چاله های زغال چوب در تین، نروژ داشتیم.



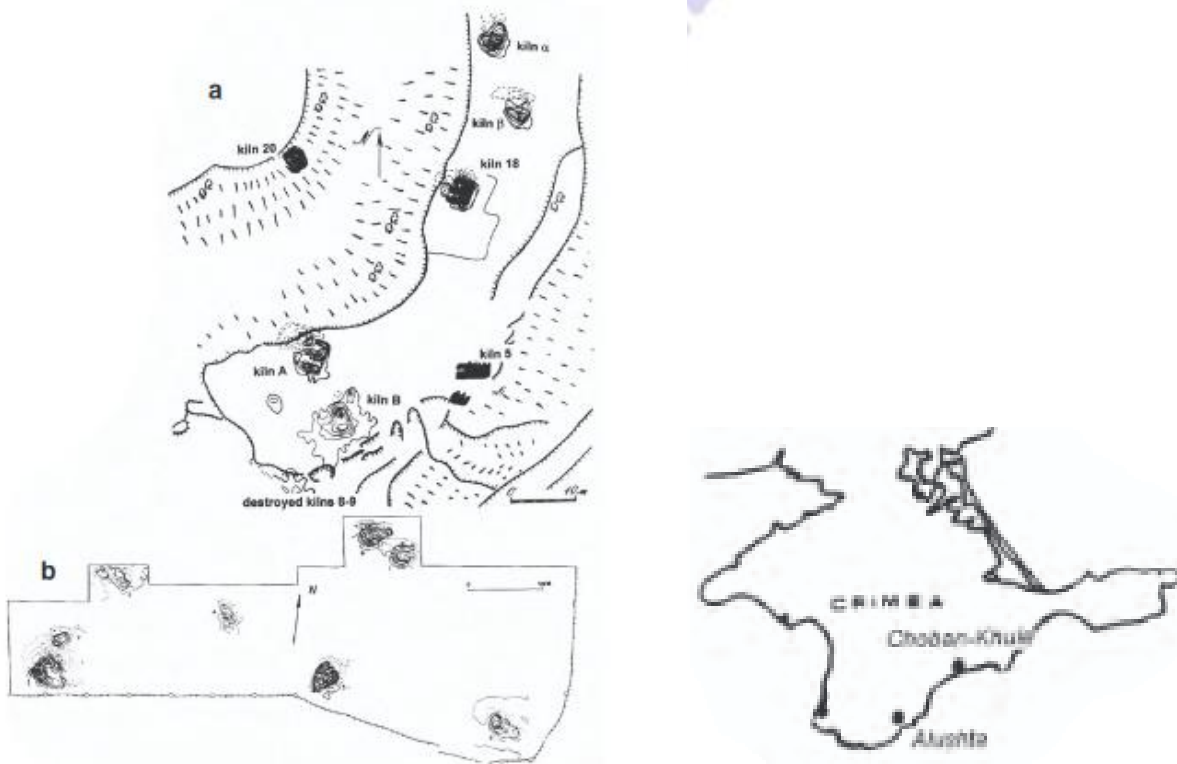
بخشی از نقشه کامل موسگارد، ۱۷۸۳، در نزدیکی آرهوس. (پس از جی بی اسکرایر ۲۰۰۱، ص ۱۰)



نقشه مغناطیسی اسمد بک. فاصله کانتور ۵ نانوتسلا است.

کوره‌های کریمه. کوره‌های سفالگری بیزانسی و قرون وسطایی.

کوره‌های سفالگری ناهنجاری‌های مغناطیسی بسیار قوی از ۱۵۰ تا ۸۰۰۰ نانوتسلا ایجاد می‌کنند، زیرا آن‌ها توده بزرگی از خاک رس سخت پخته شده هستند که یک ماده فرومغناطیسی است. بنابراین، کاوش مغناطیسی روشی بسیار مؤثر برای آشکارسازی و بررسی مراکز تولید سفال است که در آن ظروف سرامیکی، کاشی و آجر پخته می‌شده است. با کمک یک پیمایش مغناطیسی، می‌توان موقعیت دقیق یک کوره سفالگری، ابعاد آن، جهت دهانه و گاهی اوقات حتی ساختار داخلی آن را تعیین کرد (اسمکالووا و همکاران، ۲۰۰۰).

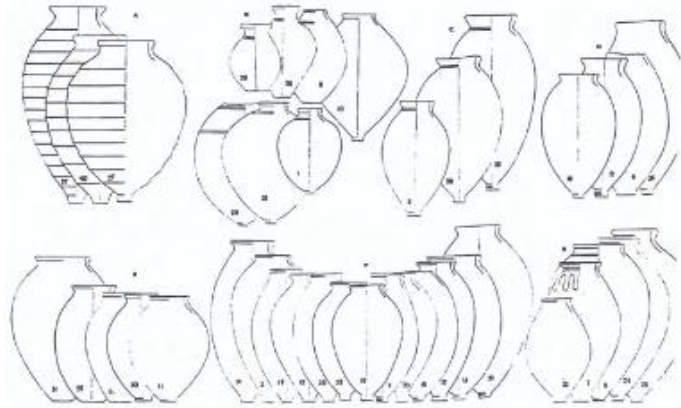


سمت راست: موقعیت مراکز تولید سفال در کریمه کوهستانی.

سمت چپ: کریمه جنوب شرقی. مراکز تولید سفال از قرن هشتم تا دهم میلادی.

(a) چوبان خوله که پنج ناهنجاری بزرگ در آن آشکار شده است. کوره‌های A و No18 پس از بررسی مغناطیسی حفاری شده‌اند.

(b) آلوشتا. مرکز تولید سفال با هشت کوره بزرگ. کوره شماره ۱ حفاری شده است (نقشه‌های مغناطیسی و نقشه کاوش‌ها را در صفحه بعد ببینید).

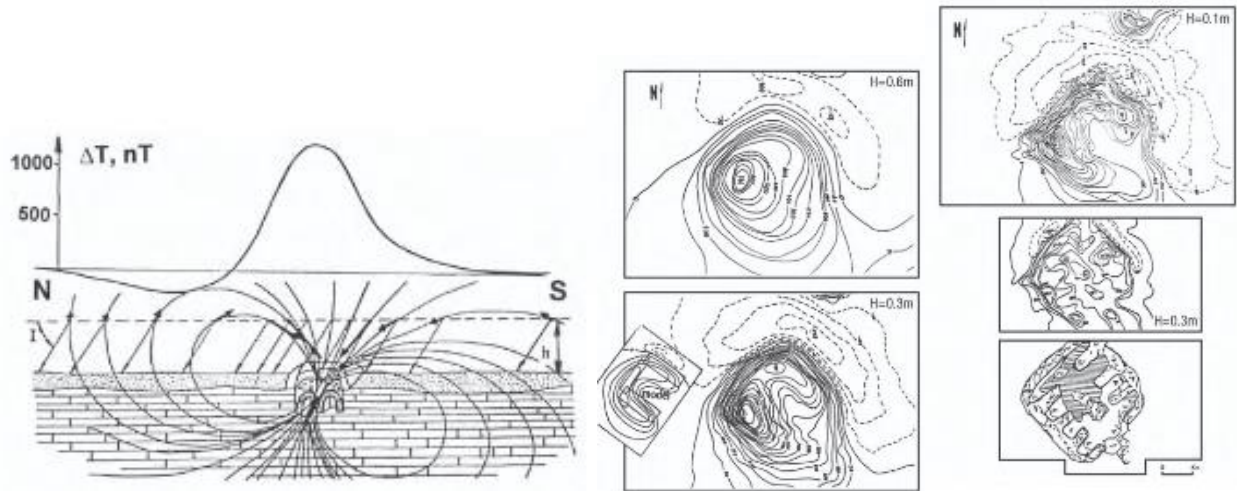


Collection of the pithoi from Alushta.
8th-10th century AD.

مجموعه‌ای از پیتوی‌ها از آلوشتا. قرن هشتم تا دهم پس از میلاد



آلوشتا. مرکز تولید سفال. نقشه‌های مغناطیسی کوره



شماره ۱، در ارتفاعات مختلف اندازه گیری شده است: ۰.۶، ۰.۳، ۰.۱ متر، ۰.۳- متر از سطح (پس از حذف خاک بالایی). در پایین: پلان حفاری کوره شماره ۱.



- [1] Abrahamsen, N. Arkæomagnetisme og jernalderslagge. Kuml, Aarhus, 1965, p. 115-132.
- [2] Abrahamsen, N. Palaeomagnetic methods and their application in archaeomagnetic dating. Proc. of the Nordic conference on thermoluminescence dating and other archaeometric methods. Uppsala University, Sweden, 1976, p. 153-167.
- [3] Abrahamsen, N., Breiner, N. Archaeomagnetic investigations in Denmark: a review.// Archaeology and Natural Science, 1993, 1, p. 5-17.
- [4] Abrahamsen, N., U. Jacobsen, V. Mejdahl, U. Mejdahl, Magnetic investigations and dating of a brick kiln at Veldbæk near Esbjerg (Denmark). // Phys. Chem. Earth, Vol. 23, No 9-10, 1998, p. 1015-1019.
- [5] Bevan, B.W. Selecting a magnetometer. // SAS bulletin. V. 14. No. 4. 1991, p. 2-5
- [6] Bevan, B.W. he magnetic anomaly over a brick foundation.// Archaeological Prospecting. V. 1. No. 2. 1994, p. 93-104.
- [7] Bevan, B.W. he magnetic properties of archaeological materials.// Geosight Technical report No. 5. 19 August 1999.
- [8] Breiner, S. Application Manual for Portable Magnetometers. GeoMetrics, U.S.A, 1973.
- [9] Crew, P., Smekalova, T., Bewan, B.W. High Resolution Magnetic Surveys of Prehistoric and Medieval Iron-Smelting Furnaces in North-West Wales. In: "Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe. Aspects of technology and science". Ed. Lars Nørbach. Aarhus University Press. 2002, p. 209-222, 315-321.
- [10] Christensen, T. Lejre - syn og sagn. Roskilde Museums Forlag, 1991.
- [11] Dehn, T., Hansen, S. I. Doubleness in the Construction of Danish Passage Graves. In A. Ritchie (Ed.), Neolithic Orkney in its European context. Cambridge. 1999, p. 215-221.
- [12] Frandsen, L. Vestjysk vikingetid.// Skalk. No. 4, 2005, p. 11-16.
- [13] Hansen, B. Als and Sørensen, M.A. he Bistrup tilework. // Hikuin 6, Århus. 1980, p. 221-264.
- [14] Hansen, T.E. Hammerslag.// Skalk. 1992, No. 3, p. 4-7.
- [15] Henriksen, M.B. Danske koge-gruber og koge-grubefelter fra yngre bronzealder og ældre jernalder.// Varia. Kulturhistorisk museum fornminneseksjonen. L. Gustafson, T. Heibreen, J. Martens (eds.). Artikkelsamling. Oslo. 2005, p. 77-102.
- [16] Jensen, S. he Vikings of Ribe. Den antikvariske Samling. Ribe. 1991.
- [17] Kovacheva, M. Inclination of the earth's magnetic ield during last 2000 years in Bulgaria.//Journal of Geomagnetism and Geoelectricity. V. 20, No. 3. 1969.
- [18] Kovacheva, M., Veljovich, D. Geomagnetic ield variations is Southeastern Europe between 6500 and 100 years B.C.// Earth and Planetary Science Letters. V. 37, p. 131-138.
- [19] Kristensen, H.K. Middelalderens klostre. En kompleks anlægstype med et mangeartet trusselsbillede.// Arkæologiske udgravninger i Danmark 2000, p. 5-19.
- [20] Lange, K.E. Unearthing Ancient Syria's Cult of the Dead. // National Geographic. February, 2005, p. 108-123.
- [21] Mills, A.J., Kaper, O. E. 'Ain el-Gezzareen: Developments in the Old Kingdom Settlements. In: G. Bowen and C.A. Hope (Eds). Proceedings of the hird International Conference of the Dakhleh Oasis

- Project. he Oasis Papers 3. Dakhleh Oasis Project: Monograph 14. Oxbow Books. Oxford and Oakville 2004, p. 121-129.
- [22] Mitchell, S., Wealkens, M. Pisidian Antioch. he Site and its Monuments. Duckworth with he Classical Press of Wales. 1998. 249 p.
- [23] Scollar, I., Tabbagh, A., Hesse, A., Herzog, I. Archaeological Prospecting and Remote Sensing. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney, 1990.
- [24] Skaarup, J. Megalithic graves, In S. Hvass, B. Storgaard (eds.), Digging into the past. Aarhus: Aarhus Universitetsforlag. 1993, p. 104-109.
- [25] Skriver, J.B. Moesgård. Historien om en herregård. Forlaget Moesgård, 2001. 263 p.
- [26] Smekalova, T., Voss, O. Field Procedure for Magnetic Investigations of Iron-Smelting Sites with Slag Pits. In: "Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe. Aspects of technology and science". Ed. Lars Nørbach. Aarhus University Press. 2002, p. 223-226, 322-335.
- [27] Smekalova, T., Voss, O. Magnetisk kortlægning af arkæologiske anlæg i Danmark 1992-2000. // Nationalmuseets Arbejdsmark 2001. Nationalmuseet. 2001, p. 148-161.
- [28] Smekalova, T., Voss, O., Smekalov, S., Myts, V., Koltukhov, S. Magnetometric Investigations of Stone Constructions within Large Ancient Barrows of Denmark and Crimea.// Geoarchaeology. 2005. Vol. 20, No. 5, p. 461-482.
- [29] Taşlıalan, M. Yalvaç. Pisidia Antiocheia. Göltaş kültür dizisi 3. 1997. 74 p.
- [30] Voss, O., Smekalova, T. Nye muligheder. // Skalk, Nr. 3, 2002, s. 10-12.
- [31] Watanabe, N., DuBois, R.L. Some results of an Archaeomagnetic Study on the Secular Variation in the Southwest of North America.// Journal of Geomagnetism and Geoelectricity. V. 17, No. 3-4. 1965, p. 395-397.
- [32] Weymouth J.W. Geophysical surveying of archaeological sites. In: Archaeological Geology. G.Rapp, J.A. Gilford. (Eds.) Yale University Press. New Haven and London, 1985, p. 191-235.
- [33] Weymouth J.W. Geophysical methods in archaeological sites surveying. In: Advances in Archaeological Methods and heory. M.B. Schifer (ed.) Academic Press. Harcourt Brace Jovanovich, Publishers. Orlando, San Diego, New York, Austin, London, Montreal, Sydney, Tokyo, Toronto. 1986, p. 311-395.
- [34] Wolfman, D. Archaeomagnetic dating in Arkansas. // Archaeo-Physika. V. 10, 1979, p. 522-533.
- [35] Ödman, A. Borgar i Skåne. Historiska Media och författaren. 2002.
- [36] Бурлацкая С.П. Археомagnetизм. Исследование магнитного поля Земли в прошлые эпохи. М. «Наука», 1965, 107 с.
- [37] Глазунов В.В., Пелевина-Манчева, О.Л. Опыт дистанционной датировки гончарной печи по магнитной аномалии ΔT . Археологически институт и музей НА БАН. Интердисциплинарни изследвания. XVII, 1990, с. 42-52.
- [38] Загний Г.Ф., Русаков О.М. Археовековые вариации геомагнитного поля в юго-западной части СССР. Киев. «Наукова Думка», 1982 г., 128 с.
- [39] Ломтадзе Г.А., Масленников А.А. Поселение «Пустынный берег II». Древности Боспора. № 6. 2003, с. 191-216.
- [40] Смекалова Т.Н., Мельников А.В., Мыщ В.Л., Беван Б.В. Магнитометрические исследования гончарных печей средневековой Таврики. СПб. Из-во Санкт-Петербургского университета. 2000. 164 с.