



AKTIVA SENIORER I NYKÖPING & OXELÖSUND

Kultur och upplevelser åt seniorer i Nyköping och Oxelösund

Rolf Sjöblom berättar om Långhundraleden, en båtled från Östersjön till Uppsala med fornborgen Broborg med förglasade delar från ca 500 e.Kr. De senare bedöms i USA vara viktiga för mer kunskap om långtidslagring av kärnavfall.



NIST



Smithsonian
Museum Conservation Institute



LULEÅ
UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY

Arkeologerna



Pacific Northwest
NATIONAL LABORATORY

Proudly Operated by **Battelle** *Since 1965*

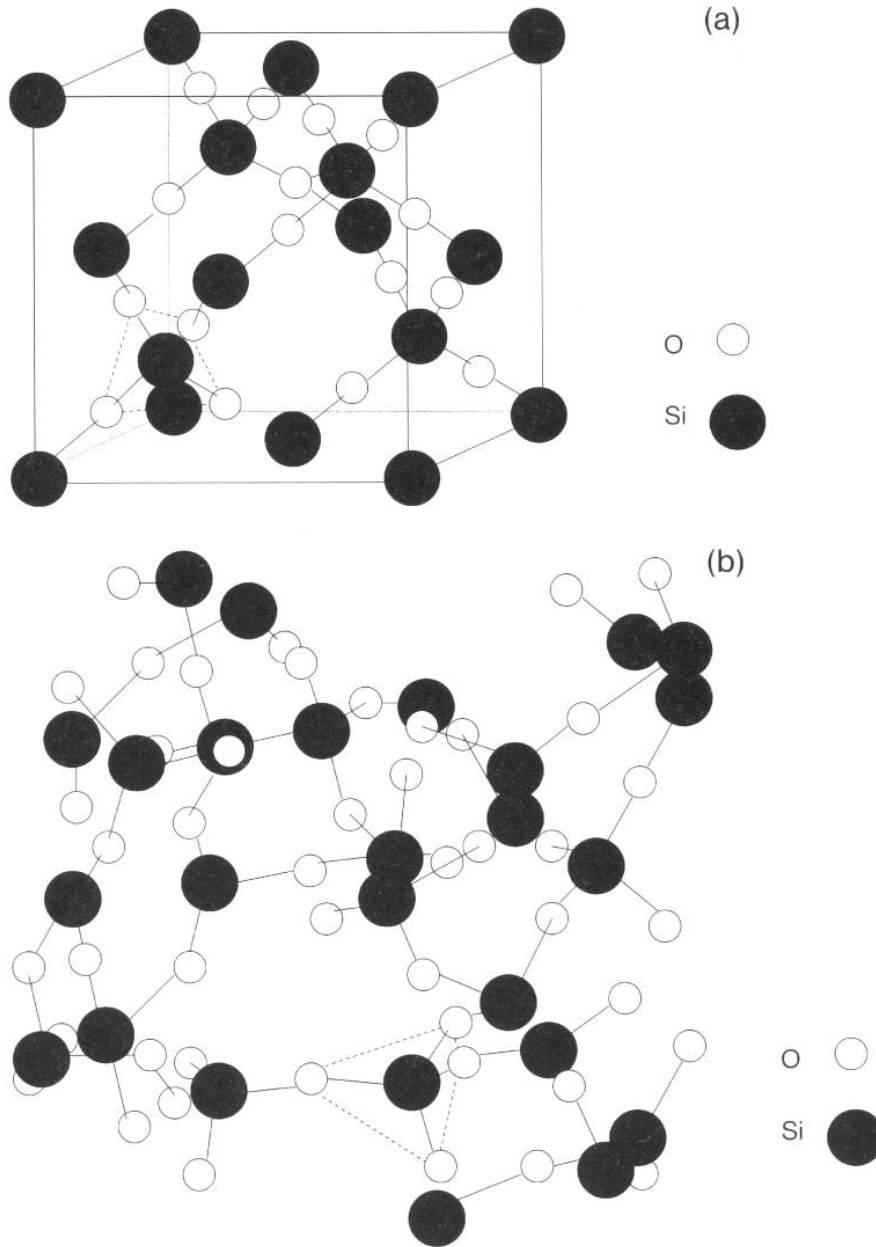


Lite om mig – Rolf Sjöblom

- Strukturkemisk forskning på vätebindningar vid Uppsala Universitet
- Utvecklat skydd för högspänningssystem vid ABB
- Kärnavfall och kärnenergiteknisk branschforskning vid Studsvik
- Analys av Sveriges program för slutförvaring av kärnavfall vid statlig myndighet
- Konsult avseende (farligt?) avfall, förbränningsteknik och askor – i Stockholm och i eget företag – Tekedo - i Nyköping
- Även knuten till Avfallsteknik vid Luleå Tekniska Universitet
- Senaste: fornborgsglas som analog till förglasat kärnavfall
men jag har aldrig tidigare sysslat med arkeologi

Hur det började

- Uppdrag att undersöka om man kan tätta sprickor i gråberg (granit) genom någon slags svetsningsprocess
- Upptäckte då att forntida folk fogat ihop stenar i fornborgar genom att sintra dem samman med hjälp av kraftig värme
- Då bildades ett glas som kan jämföras med sådant glas som man i framställer genom att smälta samman vissa kärnavfall med glasbildande ämnen



Kvarts - SiO_2

övre figuren:
kristallin form, med
 atomarrangemang som
 upprepas i tre dimensioner
 (translationssymmetri)

nedre figuren:
glas, som har en oordnad
 struktur

Att strukturen är oordnad
 innebär att lägena för
 atomerna uppvisar större
 variationer, d. v. s. glas kan
 inkorporera fler grundämnen

Fig. 5.2 SiO_2 structure: (a) crystal form; (b) glassy form. An elemental tetrahedron is shown in each case (dashed lines).

Nytt i förhållande till tidigare alternativ



Obsidian: huvudsakligen oxid av kisel som stelnat snabbt till ett glas. Bildas naturligt i samband med vulkanisk aktivitet.

**Förhistoriska
bruksföremål av glas med
oxider av kisel och
natrium och/eller kalium**





On the possibility of using vitrified forts as anthropogenic analogues for assessment of long-term behaviour of vitrified waste

Rolf Sjöblom, Holger Ecke¹ and Evelina Brännvall

Luleå University of Technology
(1) Now at Vattenfall Research and Development



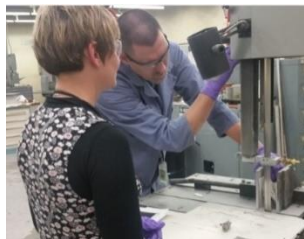
- *Albert Kruger vid Office of River Protection, United States Department of Energy*
- *Han är glasforskare vid de stora laboratorierna och anläggningarna i Hanford, sydöstra Washington State, USA*
- *Vi träffades vid ett internationellt möte i Reims i Frankrike år 2011*
- *Året efter presenterade jag tankarna om fornborgsglas som antropogen analog för kärnavfallsglas vid en annan konferens*

Our Team

Pacific Northwest
NATIONAL LABORATORY

Proudly Operated by **Battelle** Since 1965

Our team is made up of Glass Scientists, Geologists, Materials Scientists, Archeologists, Geochemists, Art Conservation Scientists, Radiochemists, and Materials Analysis Specialists



- **Sweden:** Rolf Sjöblom (Tekedo AB), Eva Hjärthner-Holdar, Erik Ogenhall (Arkeologerna)
- **DOE:** Albert Kruger
- **PNNL:** David Peeler, Carolyn Pearce, Mike Schweiger, Tamas Varga, Bruce Arey, Micah Miller, Andy Plymale, Kayla Johnson, Danielle Saunders
- **NIST:** Jamie Weaver
- **WSU:** John McCloy, Mahmood Abusamha, Joseph Osborn, Jack Clarke (Sheffield University)
- **Smithsonian:** Ed Vicenzi, Robert Koestler, Paula DePriest, Tom Lam

Deltagare i projektet

- US Department of Energy, Office of River Protection
- Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)
- Washington State University (Department of Chemistry; School of Mechanical and Materials Engineering)
- Environmental Molecular Sciences Laboratory (EMSL), US Department of Energy, Office of Biological and Environmental Research
- Museum Conservation Institute (part of the Smithsonian Institution)
- US National Institute of Standards and Technology
- Geoarkeologiskt Laboratorium, Arkeologerna, Statens historiska museer, Uppsala
- Luleå Tekniska Universitet / Tekedo AB

Varför fastlägga kärnavfall genom att omvandla det till ett glas?

- Atomerna i kärnavfallet kan fastläggas en och en inne i glaset
- Sammansättningen hos glaset kan väljas så att det blir extremt långtidsbeständigt
- Detta behöver också visas:
 - Försök avseende beständighet, i första hand lakning
 - Teoretiska överväganden
 - Studier av liknande material som funnits i jämförbar miljö under lång tid

Syfte med projektet

- Att kvalificera glas från fornborgen Broborg som en antropogen analog till kärnavfallsglas
- Att bidra till det svenska kulturarvet genom ökad kunskap om glaset, förglasningen och Broborg

Vad innebär detta?

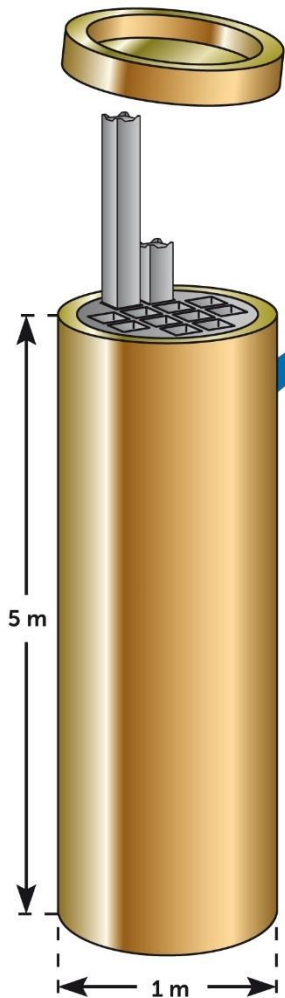
	Inne i muren	Utanför muren
Initialt	Hur förglasningen kom till: Bygga muren, förstöra borgen eller olyckshändelse?	Broborgs roll, främst för kontroll av vattenvägen och skydd av Gamla Uppsala
Över tid	Den lokala kemin: påverkan från skörbrända stenar, surt regn, mänskliga aktiviteter	Miljöns utveckling: landhöjning, jordbruk, avskogning, klimatförändring inklusive fimbulvintrar

Kort om långlivat förglasat kärnavfall

- Inte i Sverige
- Men bl a i USA
 - Använt kärnbränsle löses upp kemiskt
 - Långlivade radionuklider som man inte kan använda separeras och hamnar i en uppslamning
 - Till uppslamningen sätts glasbildande ämnen varefter blandningen smälts till ett glas
 - Kemisk sammansättning samt processens utformning har valts så att glaset blir mycket beständigt

SKB:s metod, KBS-3

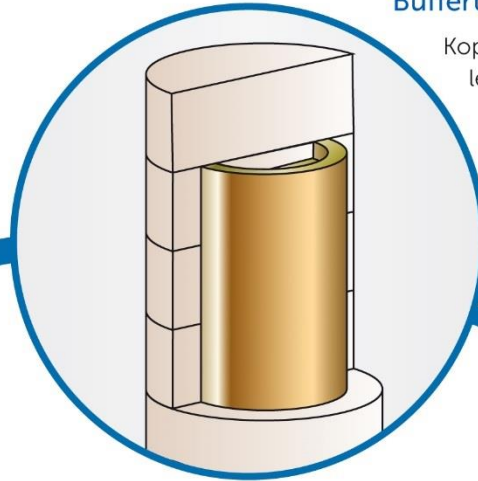
Tre barriärer – kapseln, bufferten och berget – ska tillsammans hindra de radioaktiva ämnena i det använda kärnbränslet från att ta sig upp till markytan.



Kapsel

Den första barriären består av en kopparkapsel. Kapselns uppgift är att isolera det använda bränslet. Ytterhöljet består av fem centimeter tjock koppar. Inuti finns en insats av segjärn (ett slags gjutjärn) för att ge tillräcklig hållfasthet. Kapseln väger mellan 25 och 27 ton när den är fylld med använt kärnbränsle. Ungefär två ton av totalvikten utgörs av det använda kärnbränslet.

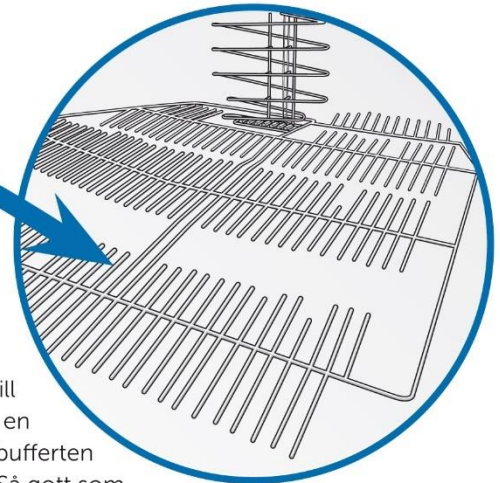
Buffert



Kopparkapslarna omges av 30 centimeter tjocka ringar och block av bentonitlera. Leran är den andra barriären och ska fungera som en buffert mellan deponeringshålets väggar och kapseln. Detta är möjligt på grund av lerans egenskap att svälla när den kommer i kontakt med vatten.

Skulle en kapsel bli otät är det bentonitbuffertens uppgift att fånga in och fördröja spridningen av radioaktiva ämnen. Den ska också hindra skadliga ämnen i grundvattnet från att korrodera kapseln samt skydda den från små rörelser i berget.

Berg

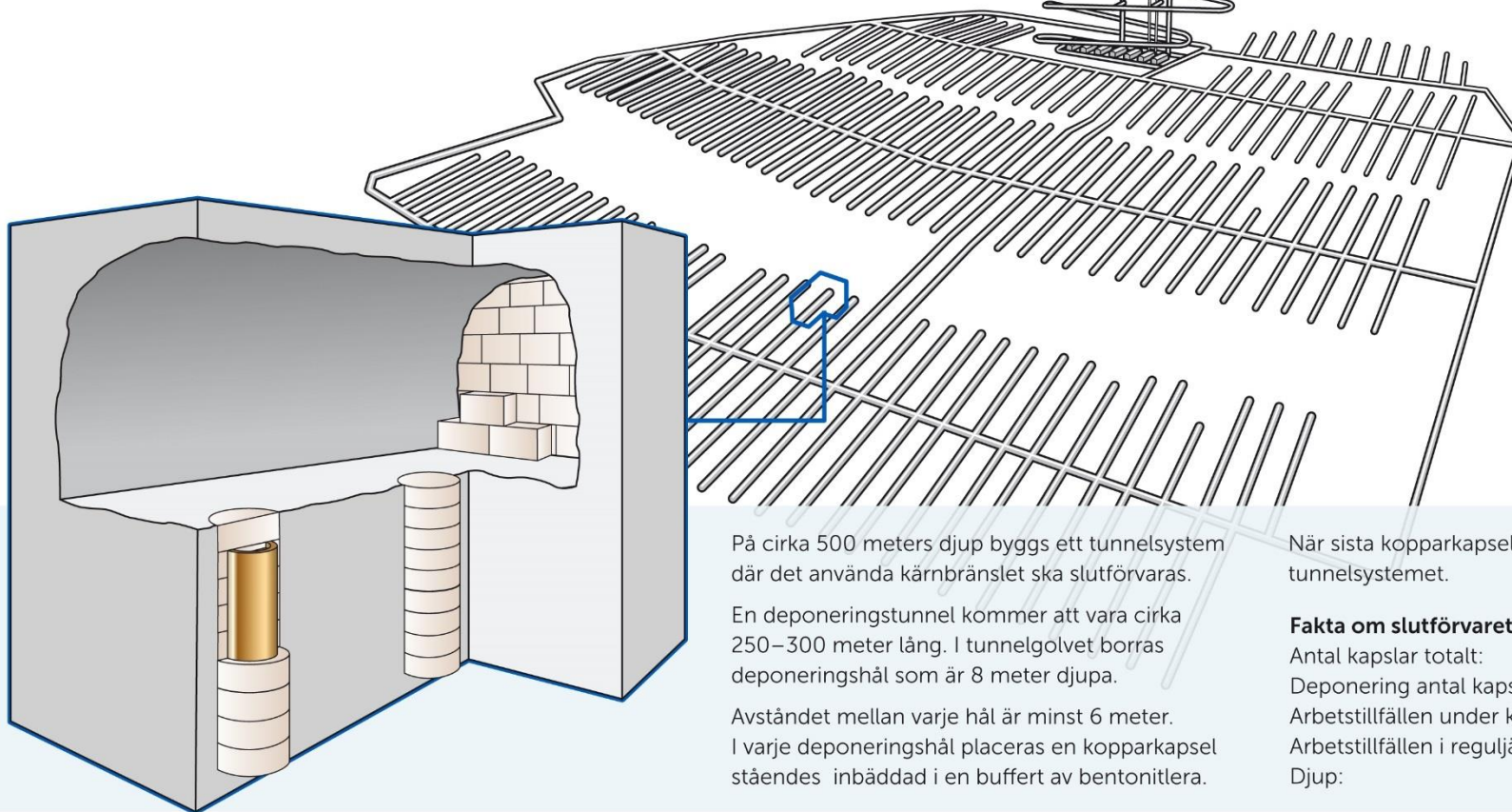
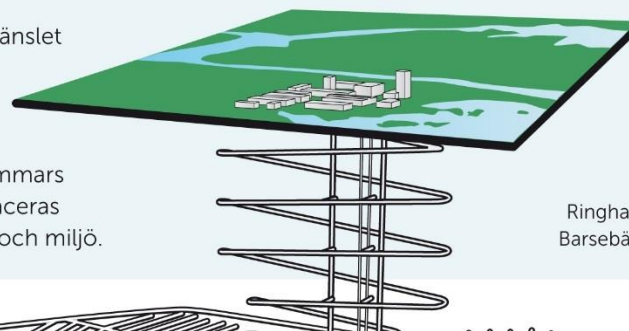


Den tredje barriären som hindrar de radioaktiva ämnena från att ta sig upp till ytan är berget självt. Berget bidrar med en naturlig miljö som gör att kapseln och bufferten behåller sina funktioner mycket länge. Så gott som alla radioaktiva ämnen kan fastna på bergets sprickmineral och inne i bergets mikroporer. Berget ska också isolera avfallet från sådant som händer på markytan.

Slutförvar för använt kärnbränsle

I dag mellanlagras det använda kärnbränslet i Oskarshamn. Det använda kärnbränslet är farligt för människa och miljö under lång tid, därför behövs ett slutförvar för använt kärnbränsle. Denna typ av avfall är det mest svårhanterliga och det måste isoleras i minst 100 000 år.

SKB har efter en lång och noggrann lokaliseringsprocess valt Forsmark i Östhammars kommun som plats för det planerade slutförvaret. Det använda kärnbränslet placeras i kopparkapslar i berget på cirka 500 meters djup för att isoleras från människa och miljö.



På cirka 500 meters djup byggs ett tunnelsystem där det använda kärnbränslet ska slutförvaras.

En deponeringstunnel kommer att vara cirka 250–300 meter lång. I tunnelgolvet borrar deponeringshål som är 8 meter djupa.

Avståndet mellan varje hål är minst 6 meter.

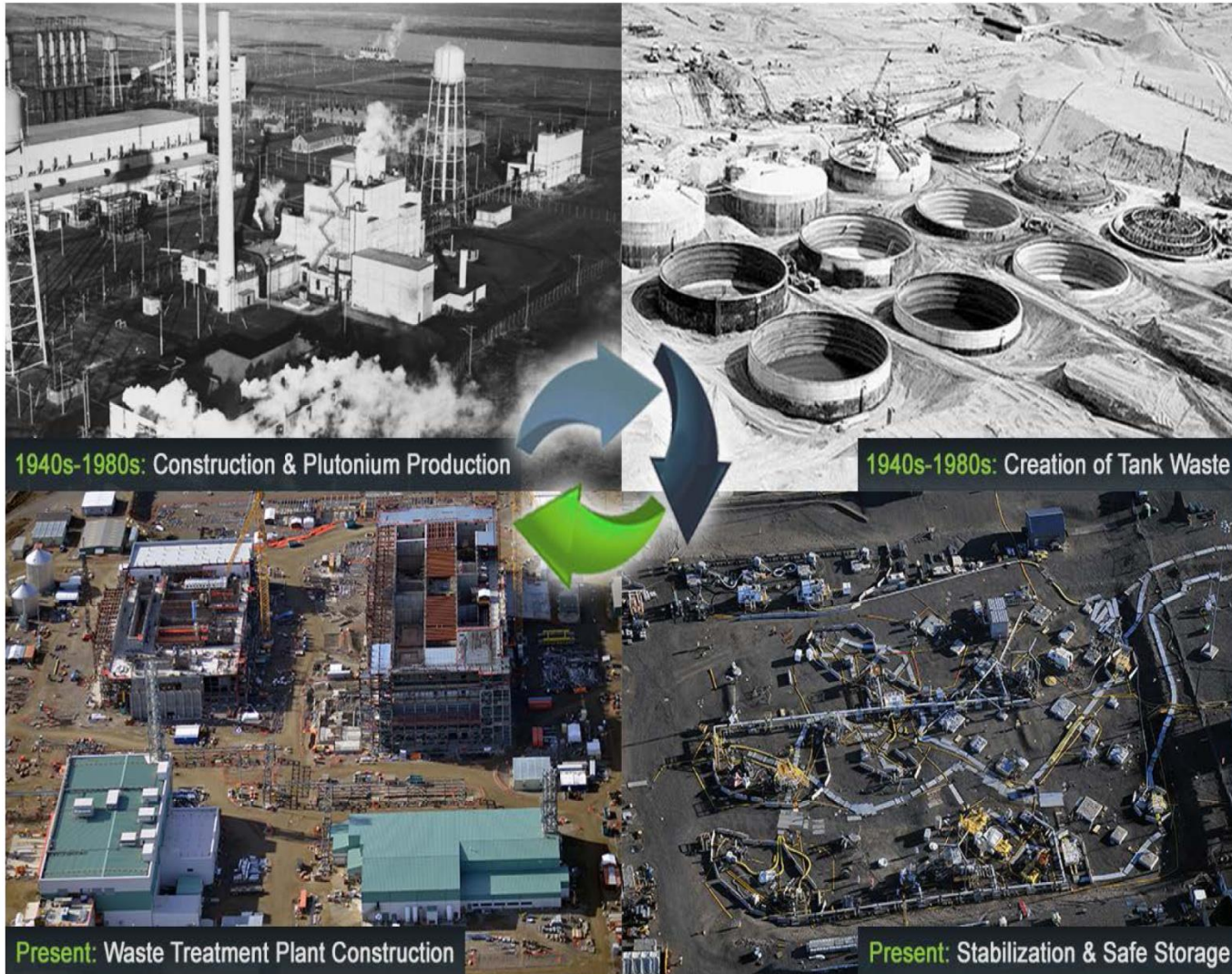
I varje deponeringshål placeras en kopparkapsel ståendes inbäddad i en buffert av bentonitlera.

När sista kopparkapseln är på plats återfylls hela tunnelsystemet.

Fakta om slutförvaret

Antal kapslar totalt:	6 000
Deponering antal kapslar/år:	150
Arbetsstillfällen under konstruktion:	300–400
Arbetsstillfällen i reguljär drift:	cirka 250
Djup:	cirka 500 m

Historical Overview, Current Status, and Path Forward



Crystallization: Potential Impacts on Melter Processing

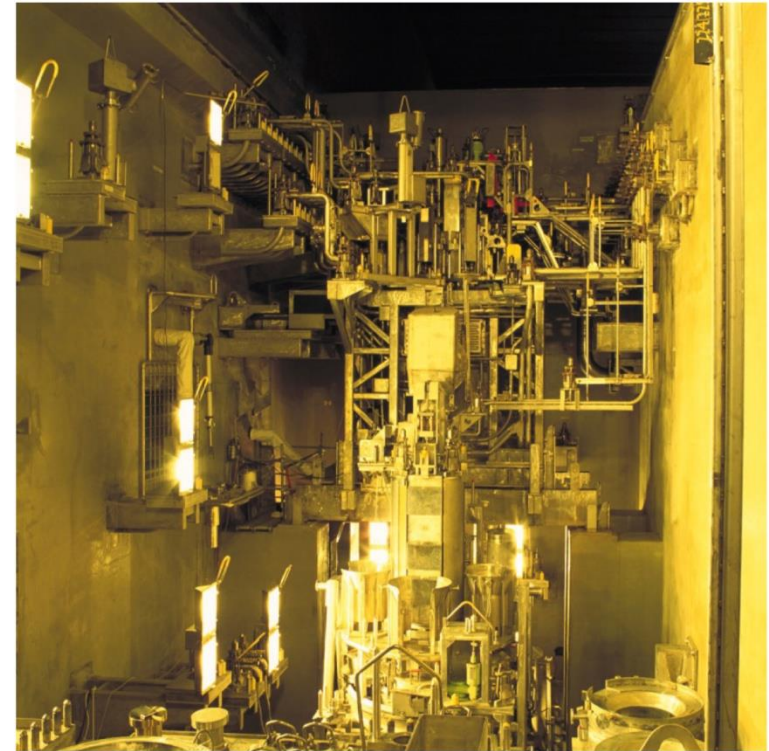
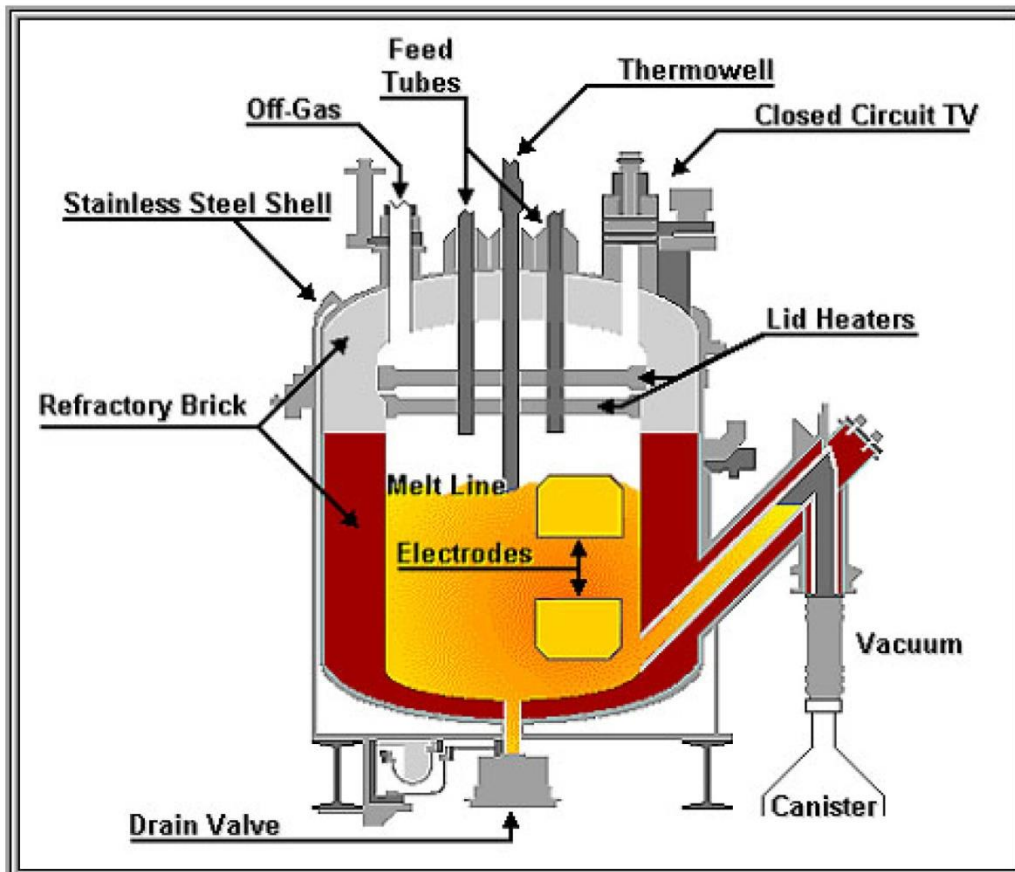
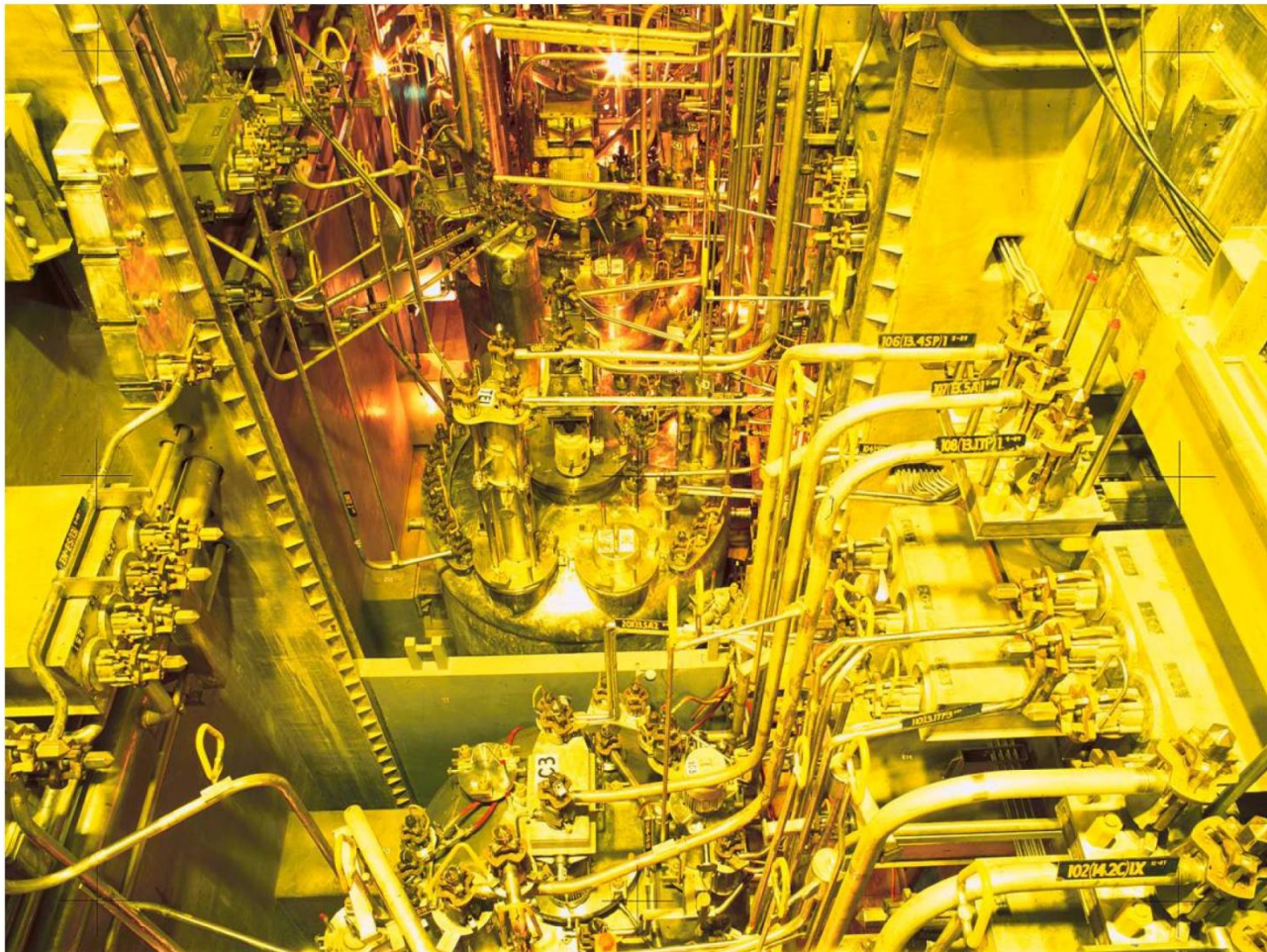
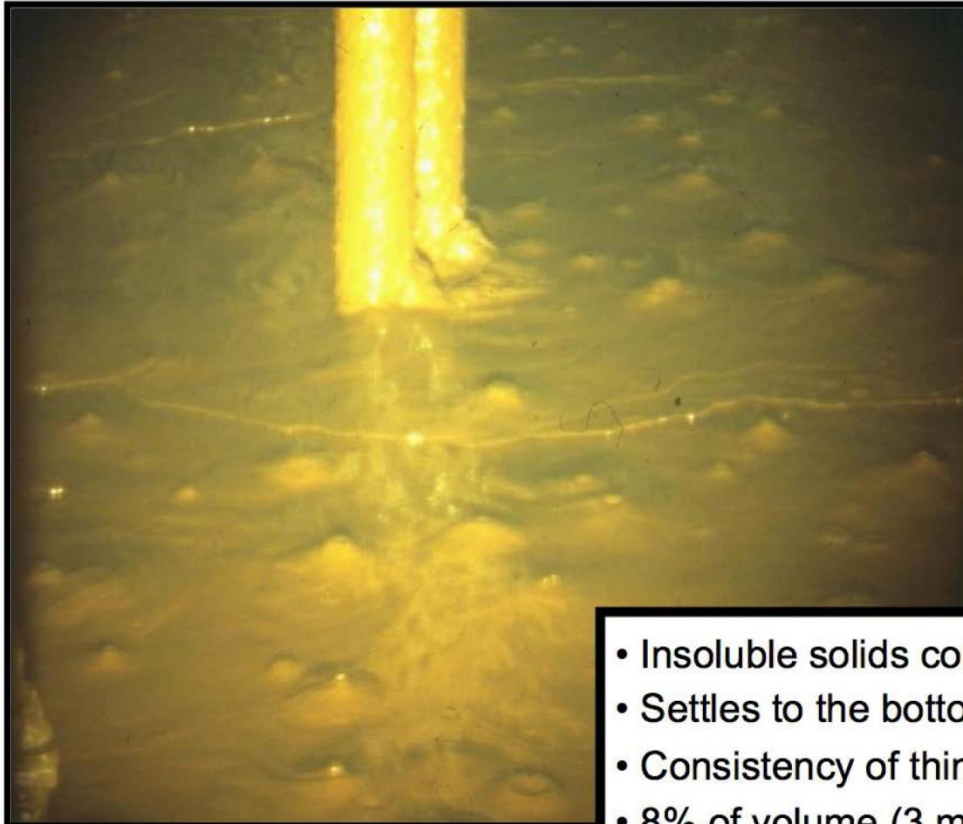


Diagram and photo of DWPF melter

Complexity of HLW Vitrification Process



Complexity of Waste: Physical Forms (sludge)



- Insoluble solids contained in the waste
- Settles to the bottom of the tank
- Consistency of thin peanut butter
- 8% of volume (3 million gallons)
- 55% of radioactivity (220 million curies)

Volumes and radioactivity for SRS waste only

Sveriges historia (förenklad)

gult = förhistorisk tid / få skriftliga källor

blågrått = historisk tid / skriftliga källor

13000 – 1700 fKr	Stenålder		
1700 – 500 fKr	Bronsålder		
500 fKr – 1050 eKr	Järnålder	500 fKr – 1 eKr 1 - 375 375 – 550 550 - 800 800 – 1050	Förrommersk järnålder Romersk järnålder Folkvandringstiden (Broborg) Vendeltiden Vikingatiden
1050 - 1520	Medeltiden		
1520 - nu	Nya tiden		

Förglasade fornborgar (Vitrified forts)

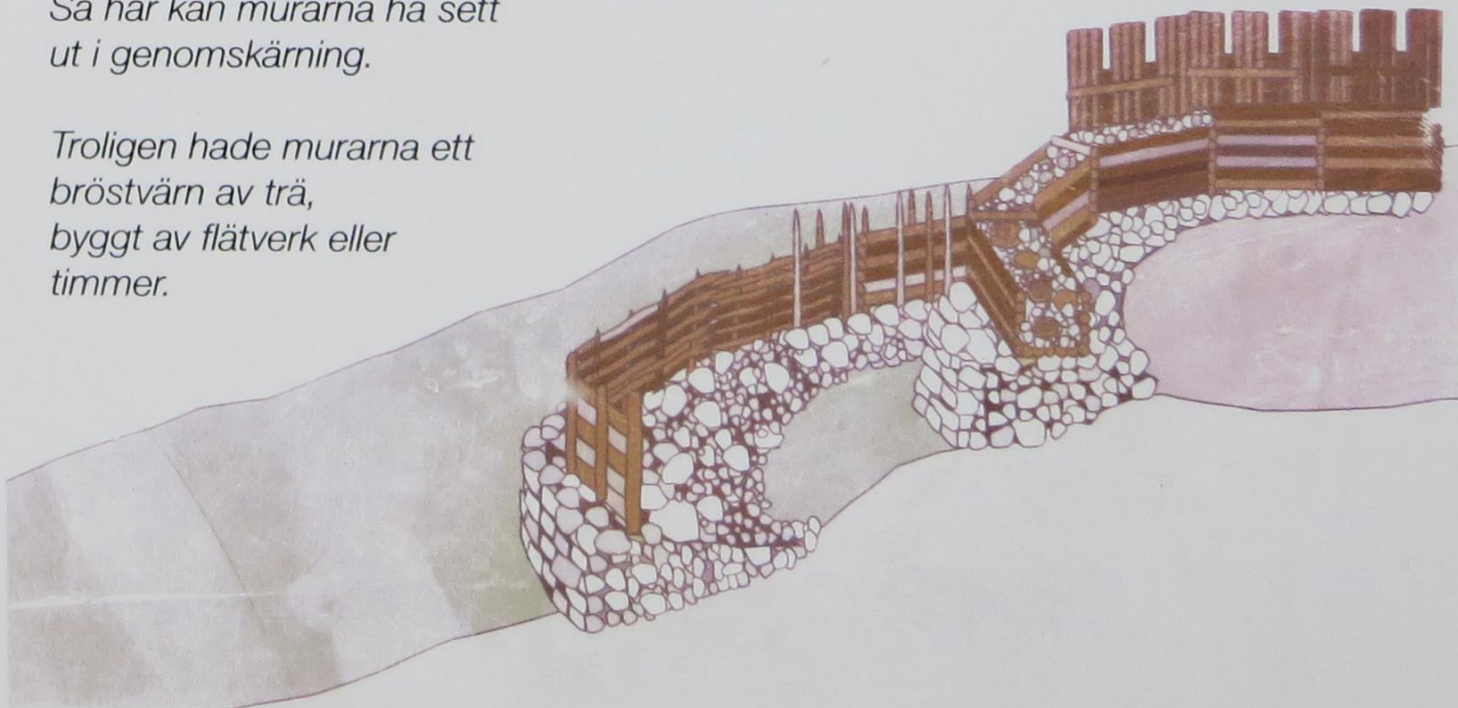
- En forntida försvarsanläggning huvudsakligen uppbyggd av sten och jordmaterial
- Ofta också med timmerförstärkning (jfr. stenkista)
- Med dateringar från 1000 fKr. – 1400 eKr.
- Det finns kanske 30 000 fornborgar i Europa varav hälften i Skottland
- Av vilka kanske 200 ses som “förglasade”
- Men bara ca. hälften innehåller förglasat material, övriga bara bränt (kalcinerat)



Fornborgen Broborg, ca. 20 km OSO om Uppsala

Så här kan murarna ha sett ut i genomskärning.

Troligen hade murarna ett bröstvärn av trä, byggt av flätverk eller timmer.



Den inre vällen kan ha konstruerats med stenkistor av trä som fylldes med utvalda stenar, bl. a. en sort som innehåller amfibolit.

Stenen har sedan förglasats i samband med en kraftig brand. Träkonstruktionerna har brunnit upp och bildat håligheter.

Förglasningen i muren

Den förglasade delen av muren ligger under stenkistorna men över en kallmurskonstruktion. Stenkistkonstruktionen är borta och stenarna som var i den är spridda. Förglasningsdelen är ca 0,8 – 1 meter bred och 0,3 – 0,4 meter hög. Den består av 0,1 – 0,2 meter stora stenar som fogats samman med smält glas



Broborg, stigen går över den förglasade delen

Undersidan av en del av den förglasade muren.
Observera det stalaktitliknande smälta materialet samt
sprickor som uppkommit till följd av hettan





Broborg innanför inre muren

År 2015 kom det ett e-postmeddelande från USA

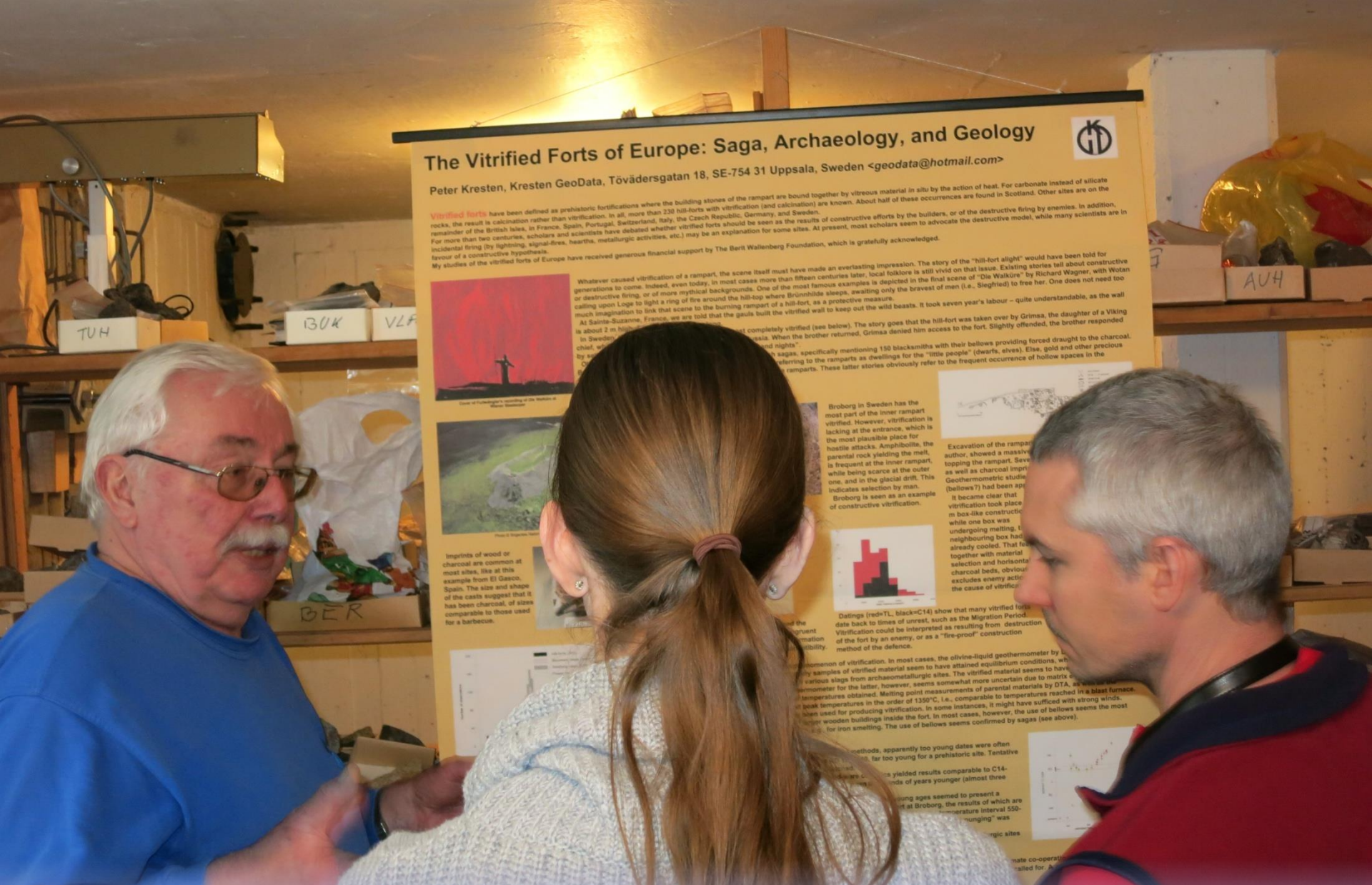
- Vad kan Du göra för xx US \$?
 - Vi vill ha material för undersökningar
 - Dels befintligt
 - Senare också jungfruligt
- Besök till Broborg i februari 2016

A photograph of three people standing in a snowy field. On the left is an older man with a mustache, wearing a dark blue jacket, blue jeans, and a black beanie with sunglasses. In the center is a woman with long brown hair, wearing a purple hooded jacket, black pants, and black boots. On the right is a younger man wearing a black jacket, blue jeans, and a patterned knit hat. They are all smiling. The background shows a line of bare trees and a hill covered in snow. The sky is overcast and it appears to be snowing lightly.

Broborg i februari
2016. Peter
Kresten visar
borgen för
John McCloy och
Jamie Weaver



Peter Kresten går igenom prover från utgrävningen 1982-83 med Jamie Weaver och John McCloy



Peter Kresten, professor i petrologi, berättar om sitt arbete med att tolka hur förglasningen kommit till stånd



Möte med Arkeologerna i Uppsala, Riksantikvarieämbetet. Diskussion av bl. a. möjligheterna till att utföra en ny utgrävning.

Överst från vänster: Erik Ogenhall, Eva Hjärthner-Holdar, John McCloy och Jamie Weaver. Vänster till höger, Rolf Sjöblom.



Exempel på sintrat
fornborgsmaterial
som delvis består
av glas.

Porerna finns i det
som var amfibolit /
diabas, d. v. s. den
bergart som smält
mest. Temperatur
vid smältningen ca
1200 °C



Amfiboliten innehåller bundet vatten varav en liten del avges i samband med smältningen

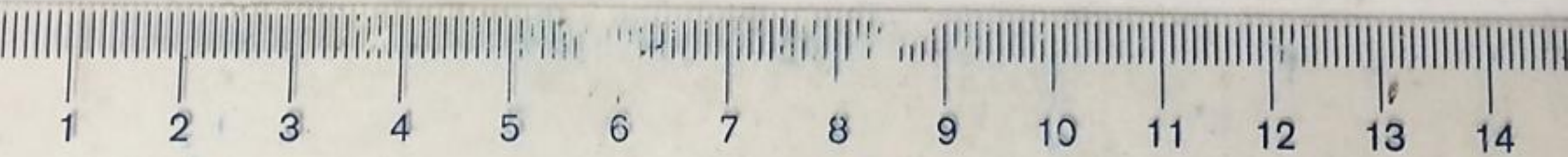


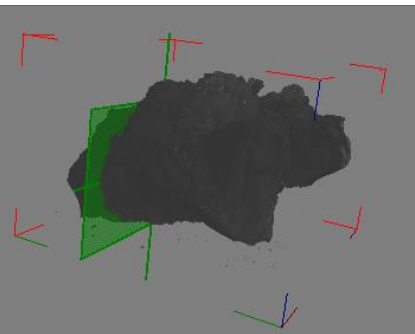
Samma
prov men
andra
vinklar.



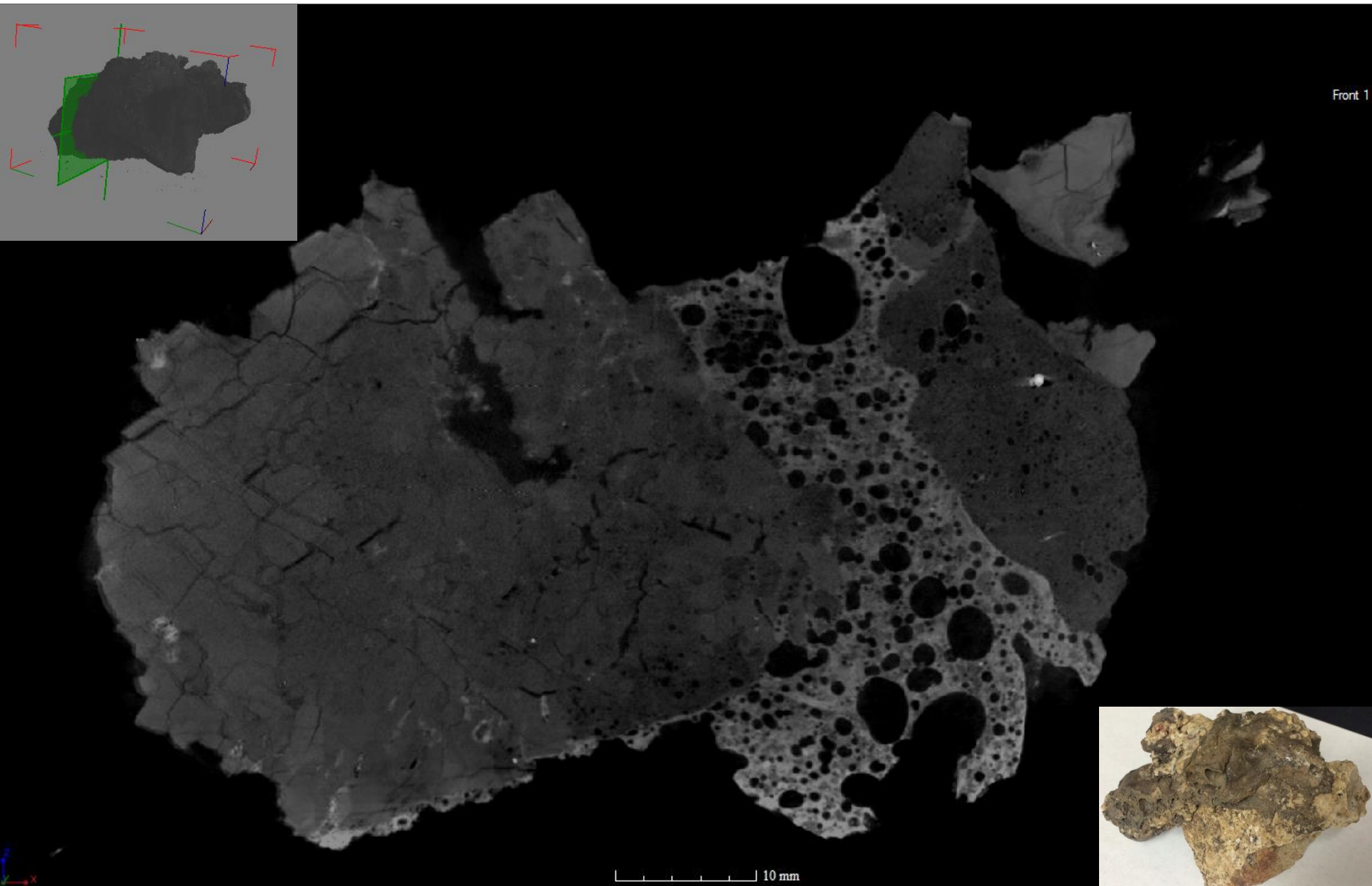
Tomografiska bilder

- Bland det första som gjordes med proverna från Peter Kresten var röntgentomografi
- Metoden innebär att man skickar en röntgenstråle i olika riktningar genom ett skikt och räknar ut densiteten
- Detta är analogt med så kallad skiktröntgen på sjukhus
- Svart svarar mot låg densitet, och vitt mot hög





Front 1



Observationer

- Porerna är sfäriska / runda, vilket visar att de omgivits av smält material
- Det finns två faser, en ljus (med högre densitet), och en mörk (med lägre densitet)
- Porerna förekommer nästan enbart i den ljusare fasen
- Bildningen av porer leder till expansion av amfibolitbitarna och sammanfogning av dem med granitsammansättning



Besök till the Smithsonian Institution i Washington DC i Januari 2017.
Från vänster: Paula DePriest, Robert Koester, Carolyn Pearce,
Edward Vicenzi and Thomas Lam



Besök till Pacific Northwest National Laboratories i Januari 2017.
Från vänster(och synliga): Jamie Weaver, Carolyn Pearce, Albert Kruger,
David Pealer, Michael Schweiger och John McCloy



Provtagning nära markytan i juni 2017. Carolyn Pearce, PNNL, projektledare.



Arkeologisk utgrävning i oktober 2017.
Bilderna tagen mot öster där ingången fanns.



Rolf Sjöblom

Mia
Englund

Eva
Hjärthner-
Holdar

Jack
Clarke

Torbjörn
Jakobsson
Holback

Albert
Kruger

Carolyn
Pearce

John
McCloy

Erik
Ogenhall

The photo
was taken by
Fredrik
Larsson

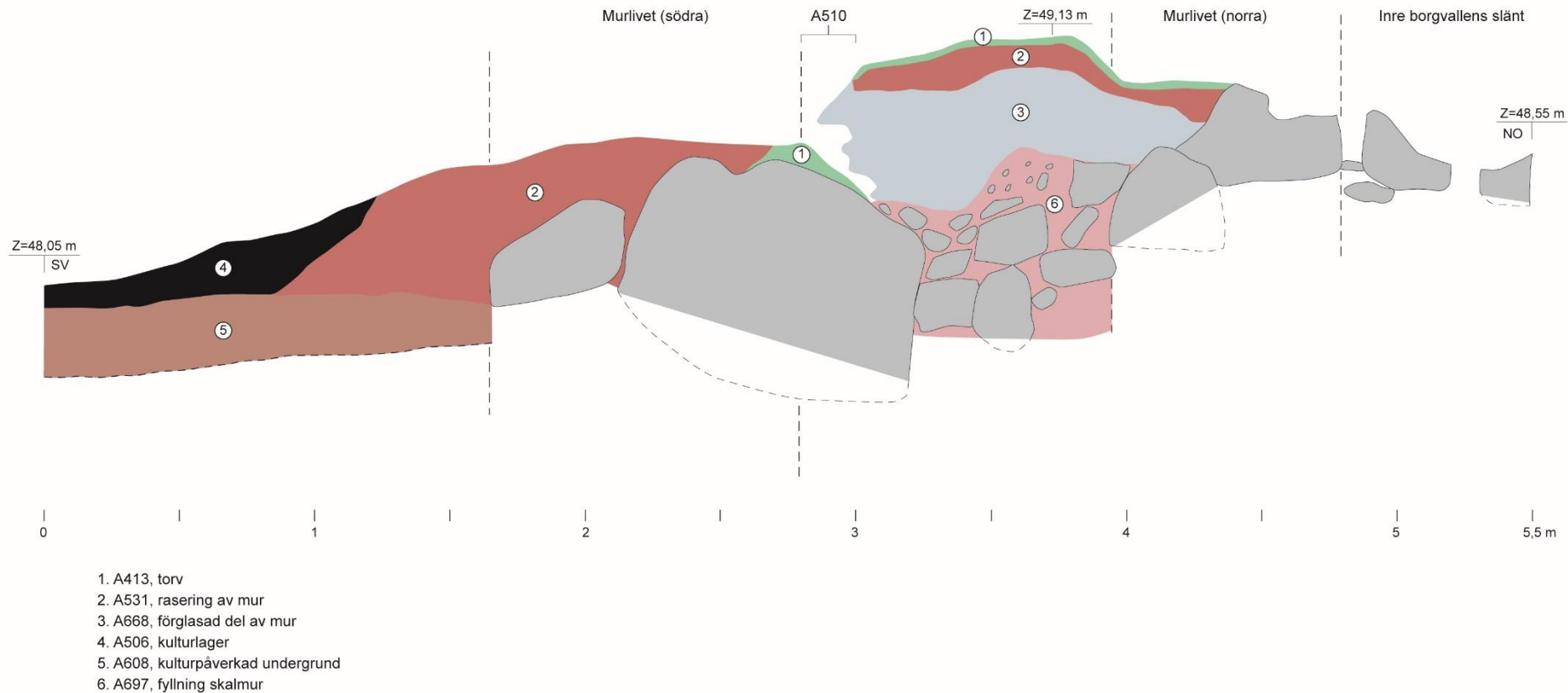
Deltagarna i utgrävningen vid Broborg i oktober 2017.
Bilderna tagen mot norr.



Här ligger den förglasade delen frilagd. Det krävdes spett och slägga för att få isär de sammansintrade stenarna.

Här är den förglasade delen borttagen. Den rödaktiga färgen har orsakats av uppvärmningen av graniten





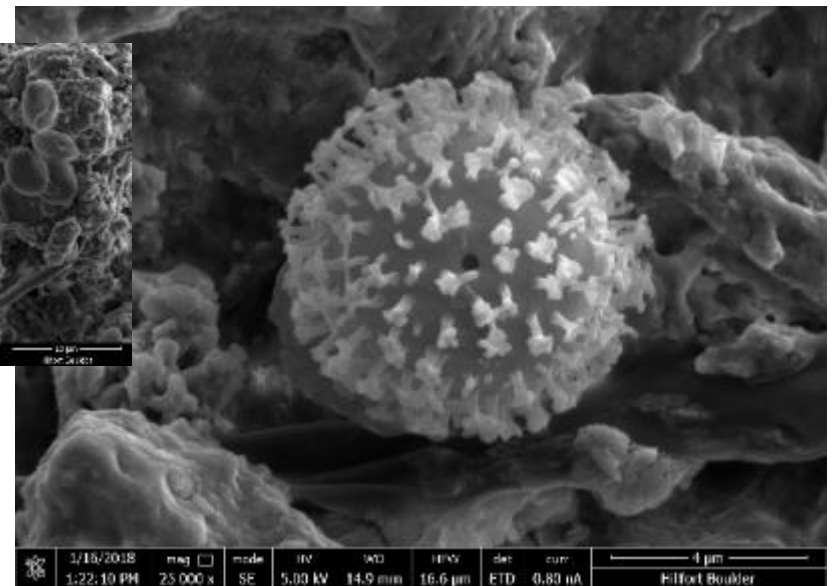
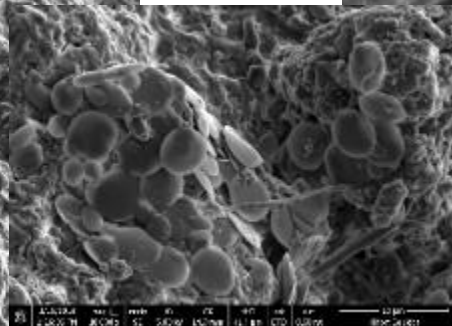
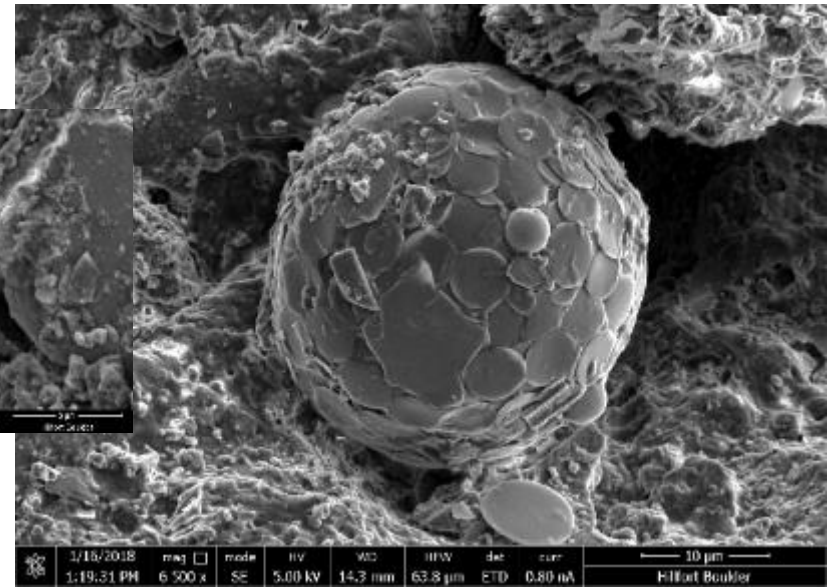
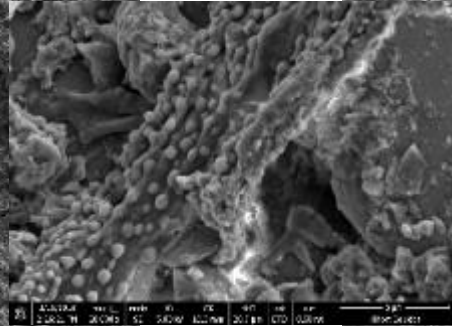
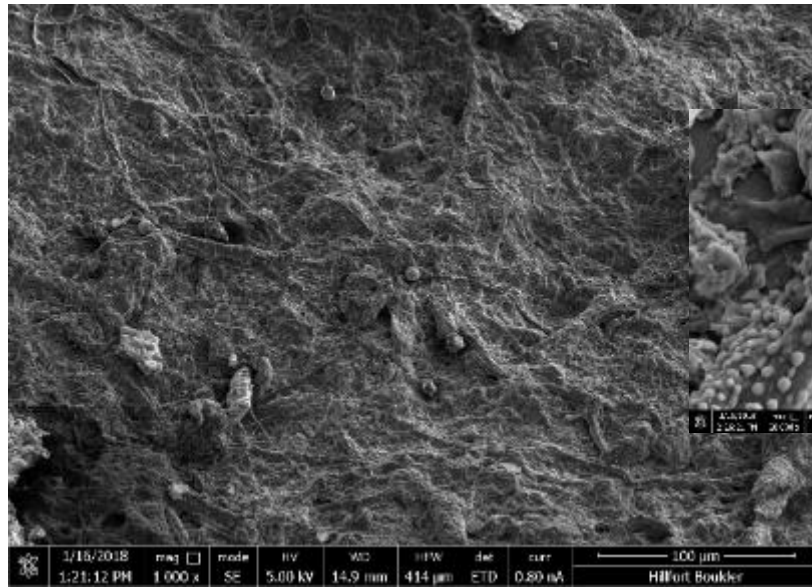
Observera att kulturlagret (4) ligger över finmaterialet som bildats i samband med värmningen av muren (2). Den förra har kol-14-daterats till omkring år 500 eKr. Detta innebär att förglasningen är minst 1500 år gammal.

Det togs många prover som skickades vidare till PNNL

Från vänster: Carolyn Pearce, PNNL, Eva
Hjärthner-Holdar och Erik Ogenhall, Arkeologerna



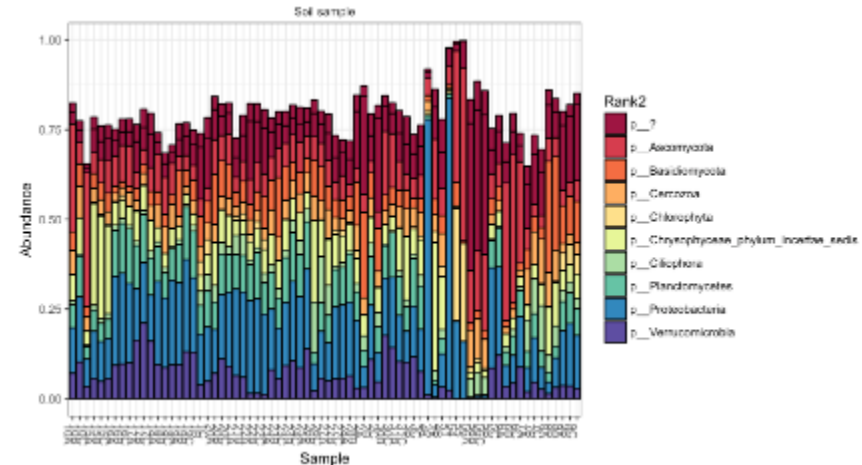
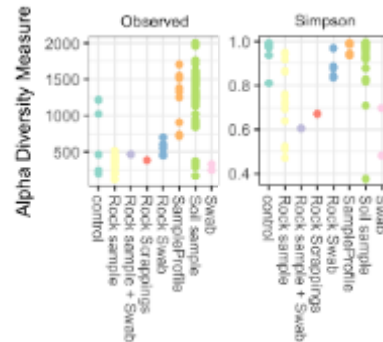
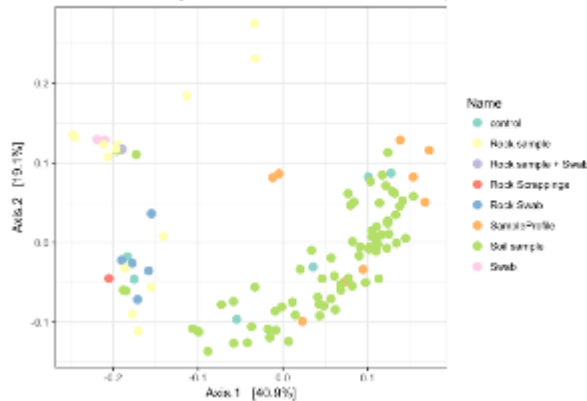
3. Melted wall – 1% organic matter



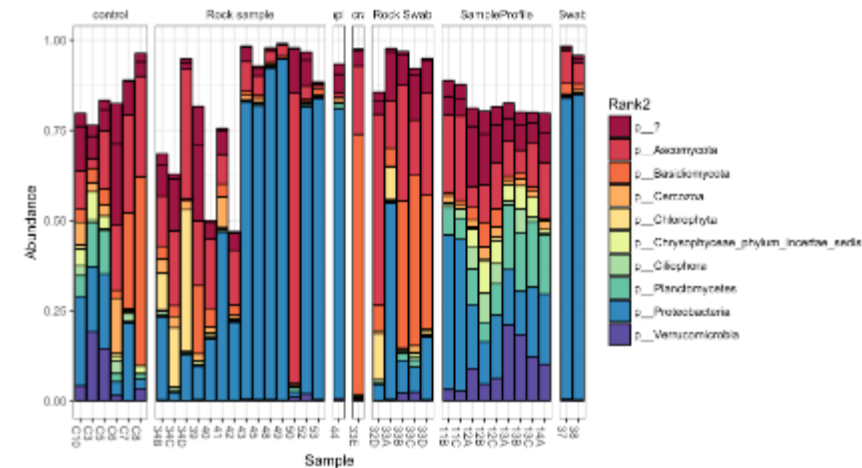
Phase I and II microbial analysis

■ Analysis of the Hillfort microbiome using 16s and 18S rRNA for bacteria, fungi and

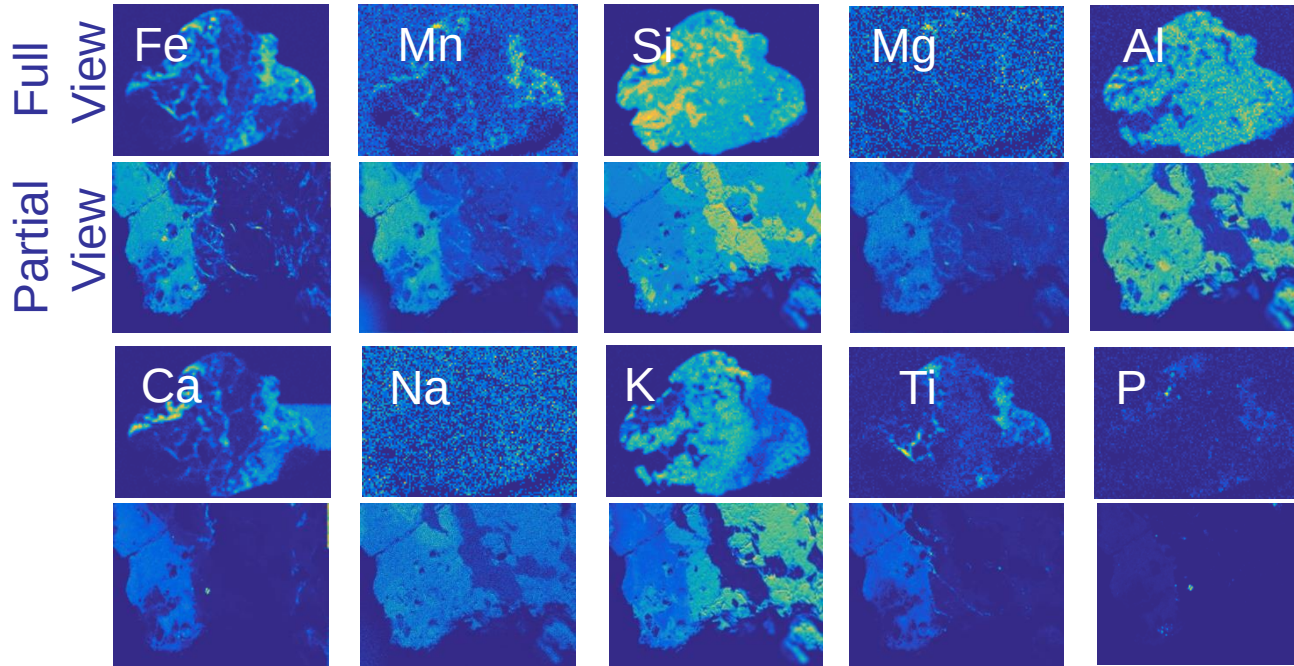
16S: PCoA of weighted UniFrac distances between samples



- Soil samples have a more varied community composition than rock/glass swabs and scrapings
- Communities associated with rock/glass swabs enriched in:
 - *Ascomycota* - most commonly identified phylum on glass surfaces
 - *Cercozoa* - testate amoebae with silica scales
 - *Proteobacteria*
- Communities associated with rock/glass scrapings enriched in:
 - *Basidiomycota* - filamentous fungi composed of hyphae

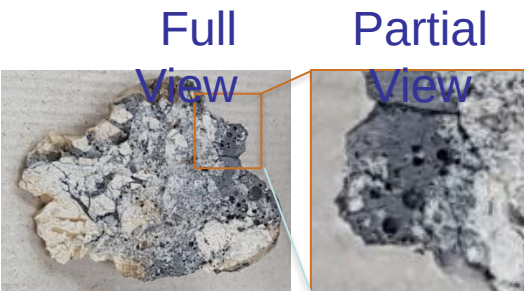


μXRF mapping



- XRF data enforces early theories of the heterogeneous nature of these samples
- Different chemistry (mineralogy), across the sample surface

Description of Area	Na	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe
Mid Gray, solid	6.03	2.76	12.8	39.9	1.47	3.02	3.38	13.8	1.66	0.45	14.01
Light	4.06	0.50	6.45	72.40	0.14	3.11	11.63	0.29	0.18	0.02	0.40
Mid Gray, mixed	5.06	0.55	12.76	52.37	0.10	4.84	20.35	0.90	0.38	0.04	1.93
Light	2.34	0.46	1.63	89.01	0.72	1.97	0.97	1.41	0.06	0.02	0.54
Dark Gray	3.87	1.29	12.21	47.16	0.45	4.04	14.24	7.25	1.17	0.16	7.34



- 2018-1 Sjöblom, R., Hjärthner-Holder, E., Pearce, C., Ogenhall, E., Englund, M., McCloy, J., Weaver, J., Vicenzi, E., Peeler, D. and Kruger, A. The mystery of the vitrified ancient hillfort. *Kernivärlden. Biotexh. Kemisk Tidskrift* 2018, nr 1, p. 35.
- 2018-2 Vicenzi, E.P., C.I. Pearce, J.L. Weaver, J.S. McCloy, S. Wight, T. Lam, S. Whittaker, R. Sjöblom, D.K. Peeler, M.J. Schweiger, A.A. Kruger, 2018: Compositional Imaging and Analysis of Late Iron Age Glass from the Broborg Vitrified Hillfort, Sweden, *Microscopy and Microanalysis* 24, nr S1, 2134–35.
- 2018-3 Weaver, J.L., Pearce, C.I., Arey, B., Conroy, M., Vicenzi, E.P., Sjöblom, R., Koestler, R.J., DePriest, P.T., Lam, T.F., Peeler, D.K., McCloy, J.S. and Kruger, A.A. Microscopic Identification of Micro-Organisms on Pre-Viking Swedish Hillfort Glass. *Microscopy and Microanalysis*, ISSN 1431-9276, E-ISSN 1435-8115, Vol. 24, nr S1, pp. 2136-2137.
- 2018-4 Pearce, C., Peeler, D., Sjöblom, R., Triplett, M., Cantrell, K., Moore, R., Schweiger, M., Freedman, V., Fountain, M., Clark, S. and Kruger, A. Reducing risk and uncertainty associated with nuclear waste processing and disposal: a Hanford tank waste study. *2018 MRS Fall Meeting and Exhibit*, Boston, Massachusetts, USA, November 25-30, 2018
- 2018-5 Weaver, J.L., C.I. Pearce, R. Sjöblom, J.S. McCloy, M. Miller, T. Varga, B.W. Arey, M.A. Conroy, D.K. Peeler, R.J. Koestler, P.T. DePriest, E.P. Vicenzi, E. Hjärthner-Holder, E. Ogenhall, A.A. Kruger, 2018: Pre-Viking Swedish hillfort glass: A prospective long-term alteration analogue for vitrified nuclear waste, *The International Journal of Applied Glass Science* 9, 540–54.
- 2020-1 Plymale, A.E., J.R. Wells, C.I. Pearce, C.J. Brislawn, E.B. Graham, T.E. Cheeka, J.L. Allen, S.J. Fansler, B.W. Arey, M.E. Bowden, D.L. Saunders, V.G. Danna, K.J. Tyrrell, J.L. Weaver, R. Sjöblom, R. Paul, J.S. McCloy, E. Hjärthner-Holder, M. Englund, E. Ogenhall, D.K. Peeler, A.A. Kruger, 2020: Niche Partitioning of Microbial Communities at an Ancient Vitrified Hillfort: Implications for Vitrified Radioactive Waste Disposal, *Geomicrobiology Journal* 38(1), 36–56.
- 2021-1 McCloy, J.S., J. Marcial, J.S. Clarke, M. Ahmadzadeh, J.A. Wolff, E.P. Vicenzi, D.L. Bollinger, E. Ogenhall, M. Englund, C.I. Pearce, R. Sjöblom and A.A. Kruger, 2021: Reproduction of melting behavior for vitrified hillforts based on amphibolite, granite, and basalt lithologies, *Nature, Scientific Reports*. 11 1272; doi.org/10.1038/s41598-020-80485-w.
- 2021-2 Nava-Farias L., J.J. Neeway, M.J. Schweiger, J. Marcial, N.L. Canfield, C.I. Pearce, and D.K. Peeler, E.P. Vicenzi, D.S. Kosson, R.C. Delapp, J.S. McCloy, S.A. Walling, C.L. Thorpe, C.L. Corkhill, R.J. Hand, R. Sjöblom and A.A. Kruger, 2021. Applying laboratory methods for durability assessment of vitrified material to archaeological samples. *npj Materials Degradation* 5, 57. <https://doi.org/10.1038/s41529-021-00204-2>.
- 2021-3 Sjöblom, R., Ogenhall, E., Hjärthner-Holder, E., Pearce, C.I., Schweiger, M., Marcial, J., Weaver, J., McCloy, J., Vicenzi, E. and Kruger, A.A. The hillfort Broborg near Uppsala in Sweden – a time capsule unveiling how it became vitrified. Abstract 3351. *The 27th Annual Meeting of the European Association of Archaeologists (EAA)* in Kiel, Germany 2021.
- 2022-1 Sjöblom, R., Hjärthner-Holder, E., Pearce, C. I., Weaver, J. L., Ogenhall, E., McCloy, J. S., Marcial, J., Vicenzi, E. P., Schweiger, M. J. and Kruger, A. A., 2022. Assessment of the reason for the vitrification of a wall at a hillfort. The example of Broborg in Sweden. *Journal of Archaeological Science: Reports* 43, pp. 1-12.
- 2022-2 Vicenzi, E.P., Lam, T., Weaver, J.L., Herzing, A.A., McCloy, J.S., Sjöblom, R. and Pearce, C.I. Major to trace element imaging and analysis of iron age glasses using stage scanning in the analytical dual beam microscope (tandem). *Heritage Science*, E-ISSN 2050-7445, Vol. 10, article-id 9. <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00707-4>.
- 2022-3 Wells J, Plymale A, Pearce C, Graham E, Bagwell C, Brislawn C, Cheeka T, Danna V, Fansler S, Arey B, Bowden M, Varga T, Saunders D, Allen J, Marcial J, Tyrrell K, Weaver J, Sjöblom R, Vicenzi E, McCloy JS, Hjärthner-Holder E, Englund M, Ogenhall E, Peeler D & Kruger A. Microbe-mineral dynamics within a 'grass-to-glass' soil profile at a late Iron Age archaeological site with implications for long-term storage of nuclear waste glasses. *Goldschmidt 2022*. Abstract. <https://doi.org/10.46427/gold2022.11>
- 2023-1 Sjöblom, R., Hjärthner-Holder, E., Pearce, C. I., Ogenhall, E., McCloy J. S., Marcial, J., Vicenzi, E. P., Schweiger, M. J. and Kruger, A. A., 2023. The vitrified wall of Broborg hillfort in Uppland, Sweden – response to the comments by Mr. Anders Bornfalk Back. *Journal of Archaeological Science: Reports* 48, pp. 1-3
- 2023-2 Matthews, B.E., Neeway, J.J., Farias, L.N., Marcial, J., Arey, B.W., Soltis, J., Kovarik, L., Zhu, Z., Schweiger, M.J., Canfield, N., Varga, T., Bowden, M.E., Weaver, J.L., McCloy, J.S., Sjöblom, R., Hjärthner-Holder, E., Englund, M., Ogenhall, E., Vicenzi, E.P., Corkhill, C.L., Thorpe, C., Hand, R.J., Peeler, D.K., Pearce, C.I. and Kruger, A.A. Micro- and Nanoscale Surface Analysis of Late Iron Age Glass from Broborg, a Vitrified Swedish Hillfort. *Microscopy and Microanalysis*, 2023, 29, 50–68. <https://doi.org/10.1093/micmic/ozac032>
- 2023-3 Marcial, J., Cicconi, M. R., Pearce, C., Klouček, J., Neeway, J., Pokorný, R., Vernerová, M., McCloy, J., Nienhuis, E. T., Sjöblom, R., Hand, R., Hma, P., Neuville, D. R. and Kruger, A. A. Effect of network connectivity on behavior of synthetic Broborg Hillfort glasses, *Journal of the American Ceramic Society*, 106(3), 1716-1731 (2023). <https://doi.org/10.1111/jace.18778>.
- 2024-1 Neeway, J. J., Pearce, C. I., Marcial, J., Hager, J. R., Plymale, A. E., Chesnutt, J., Sjöblom, R., McCloy, J. S., Ben-Yosef, E., Kruger, A. A. The use of glasses from archeological sites to understand the long-term alteration of nuclear waste glasses. *MRS Advances*. Published: 22 January 2024.

Viktiga frågor

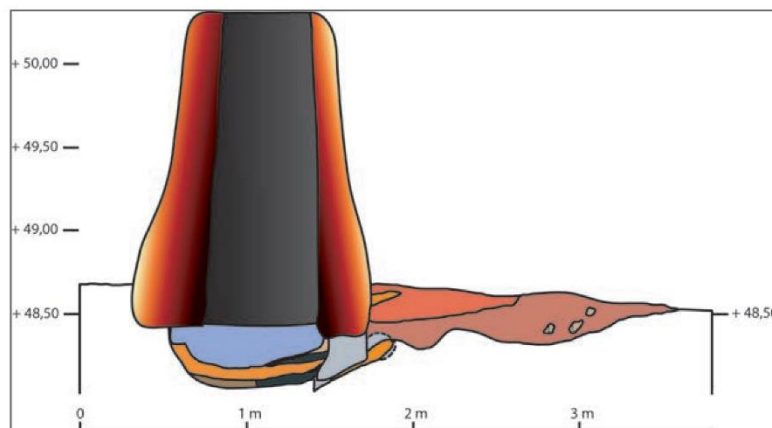
	Inne i muren	Utanför muren
Initialt	Hur förglasningen kom till: Bygga muren, förstöra borgen eller olyckshändelse?	Broborgs roll, främst för kontroll av vattenvägen och skydd av Gamla Uppsala
Över tid	Den lokala kemin: påverkan från skörbrända stenar, surt regn, mänskliga aktiviteter	Miljöns utveckling: landhöjning, jordbruk, avskogning, klimatförändring inklusive fimbulvintrar

Kriterier för att kunna bedöma om förglasningen var avsiktlig och med syftet att bygga upp muren

Vad säger själva glaset?	Det krävdes en anrikning av amfiboliten med tio gånger för att man skulle kunna få en sammanhängande mur med en hög mekanisk hållfasthet. Det finns flera skäl.
Fanns kompetensen?	Man kunde: • Tillverka högtemperaturkeramik för bl. a. gjutning av brons • Tillverka träkol och även tjära • Framställa järn med blästugnsteknik vid 1200 °C
Fanns det tillräckligt med incitament?	<u>Broborg gav möjlighet till kontroll av en av tre vattenleder som ledde till Gamla Uppsala</u> • Till skillnad från en timmerförstärkt mur brinner inte en som är förglasad • Den ruttnar inte heller, och detta är viktigast vid basen • Svårt att bygga med runda stenar ("malda" under 4 km tjock inlandsis)



Blästugnsteknik



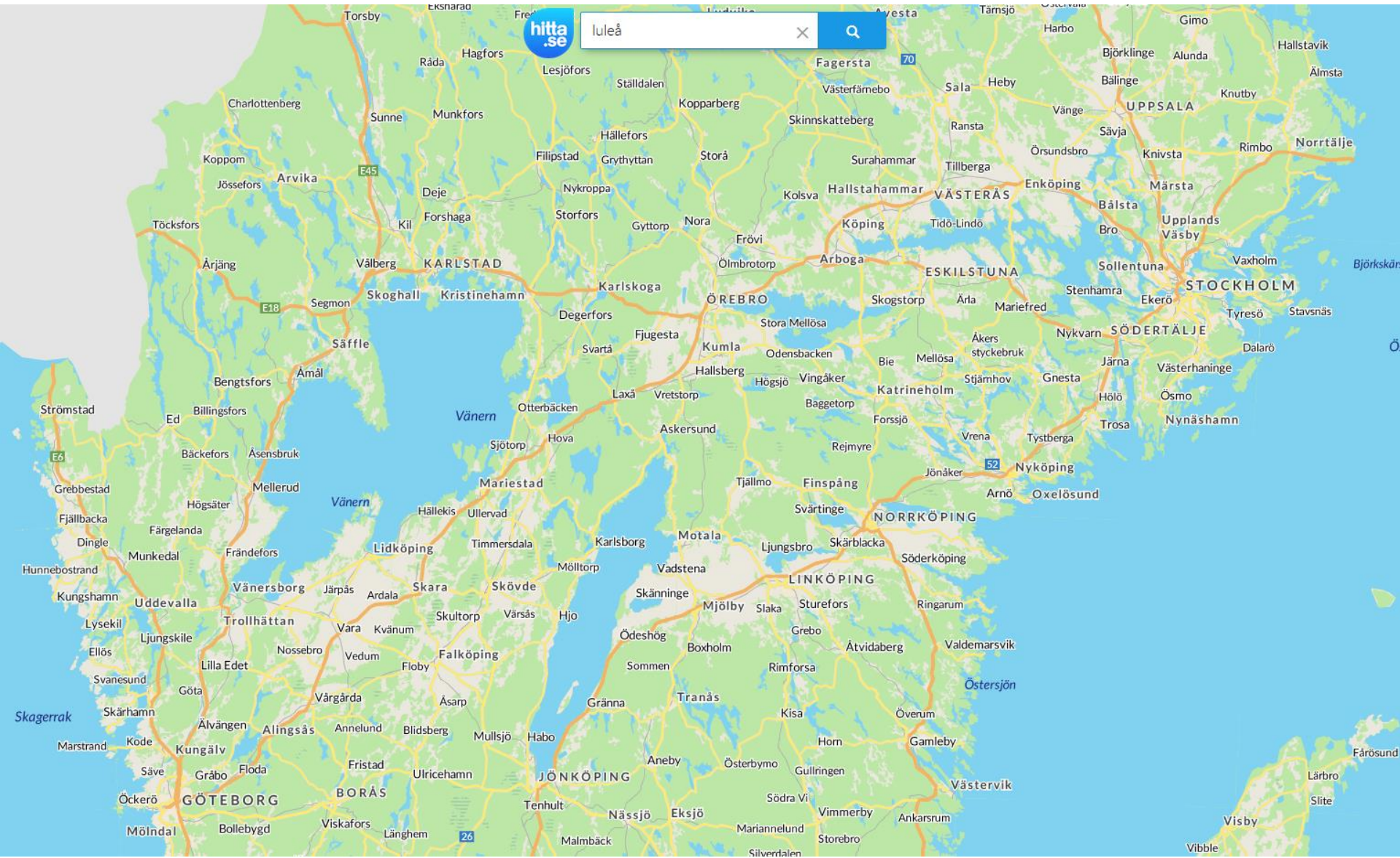
Figur 6a-c: Två exempel på större ugnar med stenbyggd slagguppsamlingsgrop med kvarlämnad slagg, från Valbo socken, Gästrikland. Ugnen i A från Åsbyggeby (Appelgren och Broberg 1998), uppvisar en tydlig hästskoform. C) Rekonstruktionsförslag på ugnen i B, från RAÄ 412 i Valbo socken. Foto och teckning: GAL.

Figure 6a-c: Two examples of large bloomery furnaces with slag pits built by stones. In both, large slag blocks were left. The furnace in A, from Åsbyggeby, has a horseshoe shape. In C a reconstruction of the furnace in B, from RAÄ 412 in Valbo parish. Photo and drawing: GAL.

Det var annorlunda förr

- Landhöjning efter inlandsisens nedpressning, ca 10 m på 1500 år
- Se film enligt länken nedan
http://tekedo.se/presentations/Uppsala_istid_till_nutid.mp4
- Vägar och vattenvägar
- Krigföring och försvar
- Dränering av våtmarker

Inte enkelt att förstå hur det var



Inte enkelt att förstå hur det var

Karta från tiden 1645 - 1664

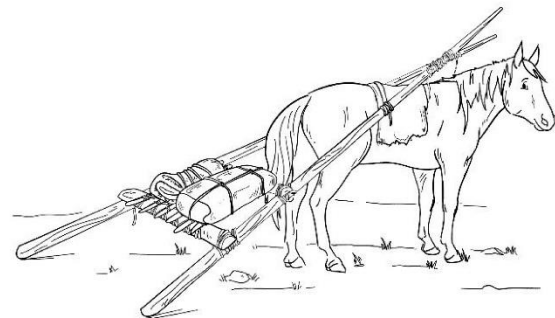


Från HÅLVÄG till MOTORVÄG

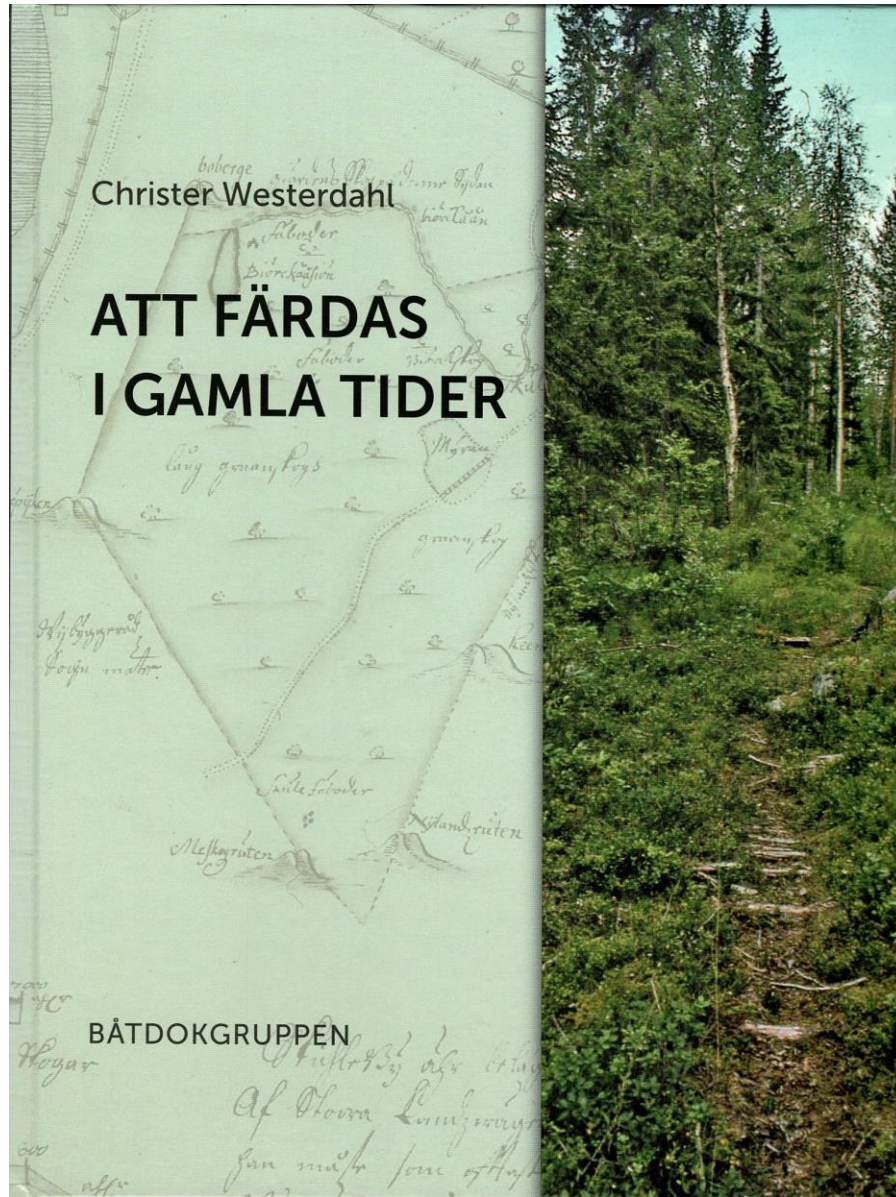
Sörmländska färdvägar under tusen år

Jan Moberg

Sidan 37:
"Fram till och
med Vasatiden
var det få vägar
som gick att åka
på med vagn
eller kärra. Under
stormaktstiden
kunde man sätta
av större resurser
för att förbättra
vägarna."



Christer Westerdahl, marinarkeolog



- Förutsättningarna för vägar och stigar ändrades i och med de omfattande dräneringarna av våtmarker som skedde under främst 1800-talet
- Under forntiden gick därför stigarna (vägarna) ofta på åsar
- Korsning av vattendrag skedde ofta vid ett vad
- Vattenvägar var generellt att föredra för tyngre och mer omfattande transporter
- Vid vattenhinder, ed, fanns det ofta förberett med speciella arrangemang för att dra båtar och kanske även gods över land.

Gunilla Larsson, arkeolog

- Doktorsavhandling från år 2007
- Studier av Viksbåten från mitten av 1100-talet, se nästa bild
- Den liknar äldre båtar från sen järnålder vilka påträffats i båtgravar i Valsgärde, som ligger uppströms från Gamla Uppsala
- De är bara något hundratal år yngre än glaset i Broborg
- Det trä som fanns i båtarna var borta, men rekonstruktioner kunde ändå göras med stöd av nitarnas lägen i de klinkbyggda skroven (d. v. s. med längsgående brädor omlott)

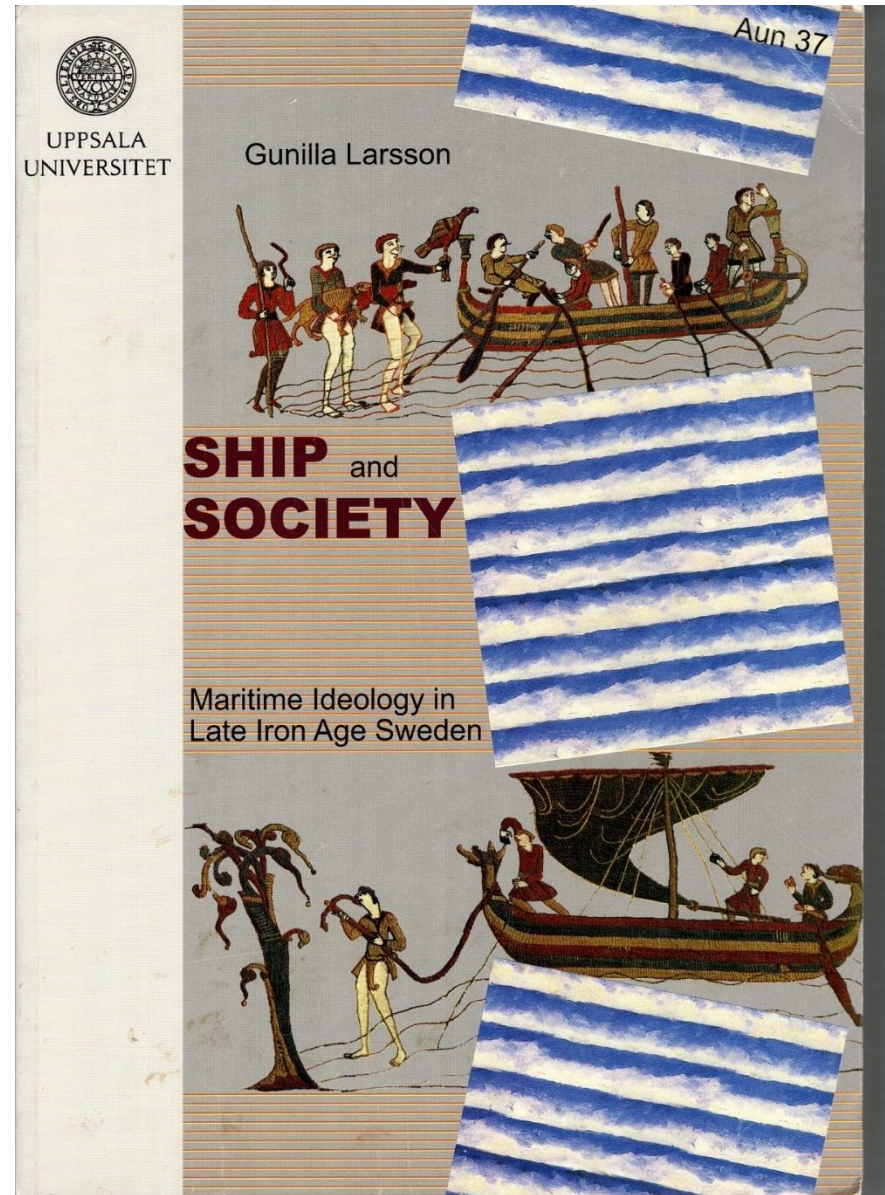
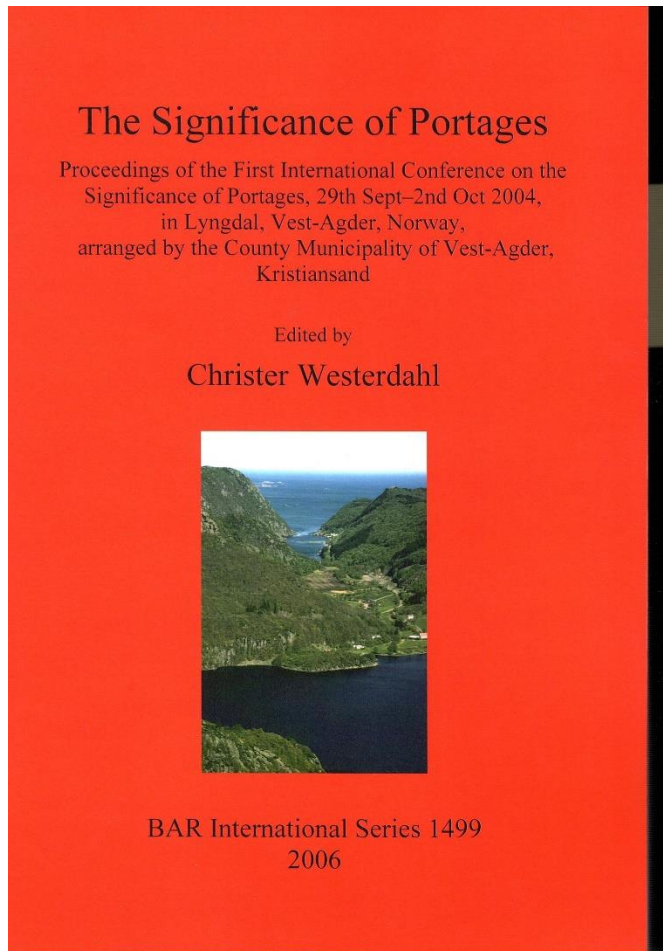


Fig. 1. Den vikingatida båten från Vik, Söderby-Karl i Roslagen, har pusslats ihop av arkeologen Gunilla Larsson som hittade den på hembygds museets vind. Foto förf.



Båten, som kallas Viksbåten, är från mitten av 1100-talet. Den är byggd i ek, samt är 9,6 meter lång och 2,2 meter bred.

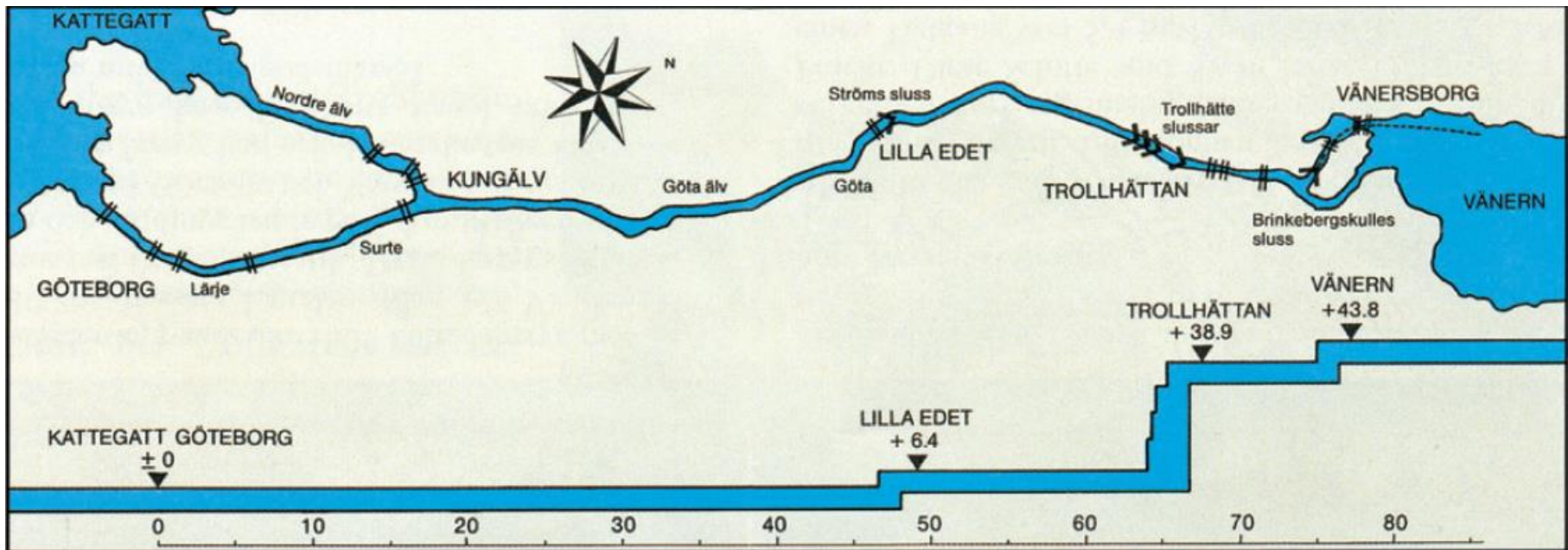
Hur passera ett vattenhinder?



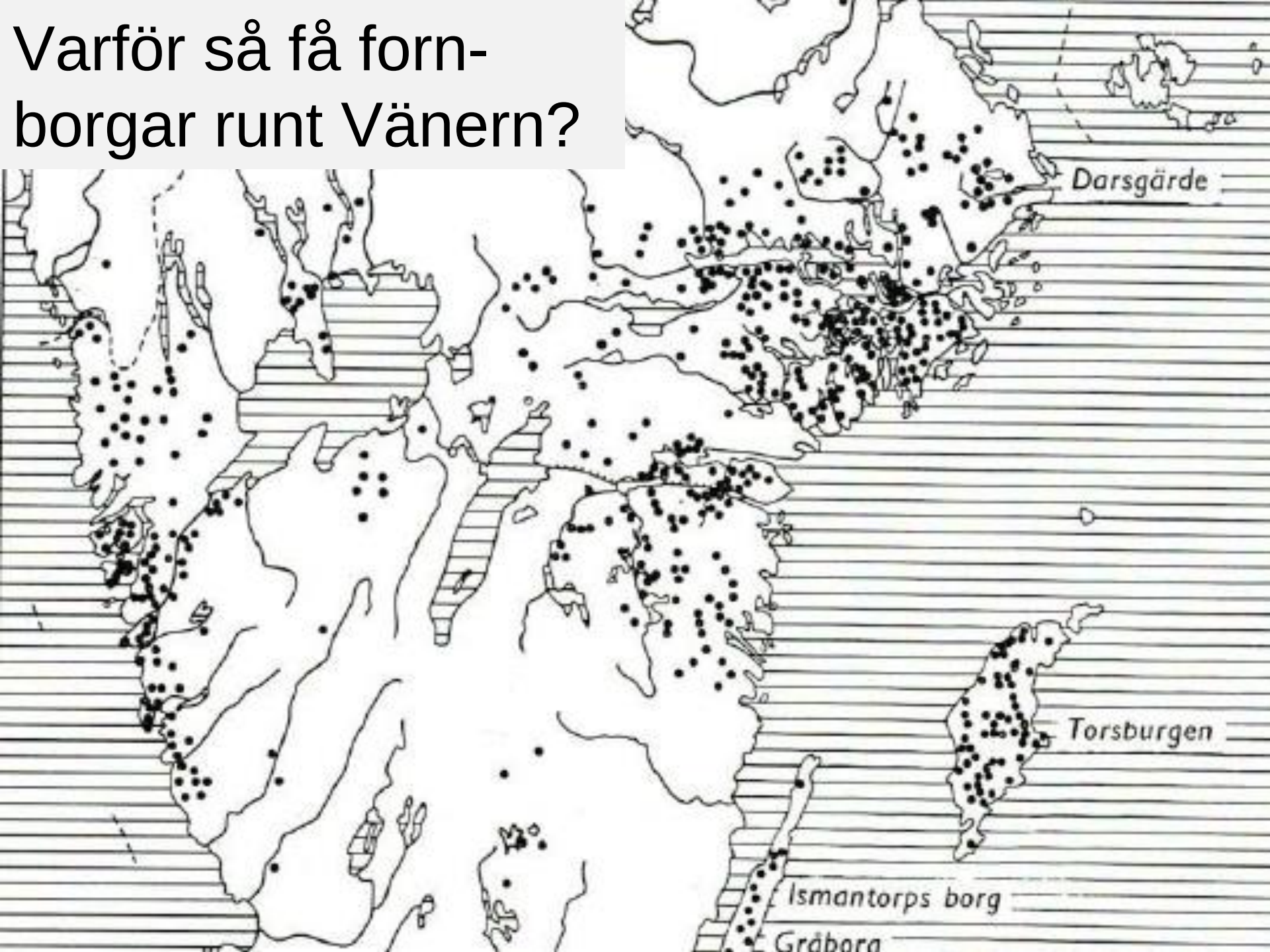
- Det är välkänt bland marinarkeologer hur detta går till
- Det kan handla om att man har lätta båtar som kan bäras eller dras
- Eller att man helt enkelt har en annan båt på andra sidan av hindret i fråga

Om draged och hinder

- Man kan ta sig förbi ett vattenhinder på olika sätt
- Men det är skillnad på fred och krig
- I krig fungerar ett vattenhinder analogt med en bro i en väg,
d. v. s. bra ställe för kontroll och försvar



Varför så få fornborgar runt Vänern?



Varför så få fornborgar runt Vänern?

- Uppsvenskarna (en del) tror att detta beror på att Västgötarna var insnöade, få och fattiga
- Västgötarna (åtminstone vissa amatörer) tror att riksbildningen skedde tidigare i Västergötland som ju var "*Svearikets vagga*" och att svearna mest bråkade inbördes, därav de många fornborgarna
- Naturligare förklaringar är att Vänern är ett innanhav och att den och dess tillflöden skyddas av eden (med stora nivåskillnader) samt fornborgarna längs Göta Älv

Inte enkelt att förstå hur det var

Karta från tiden 1645 - 1664



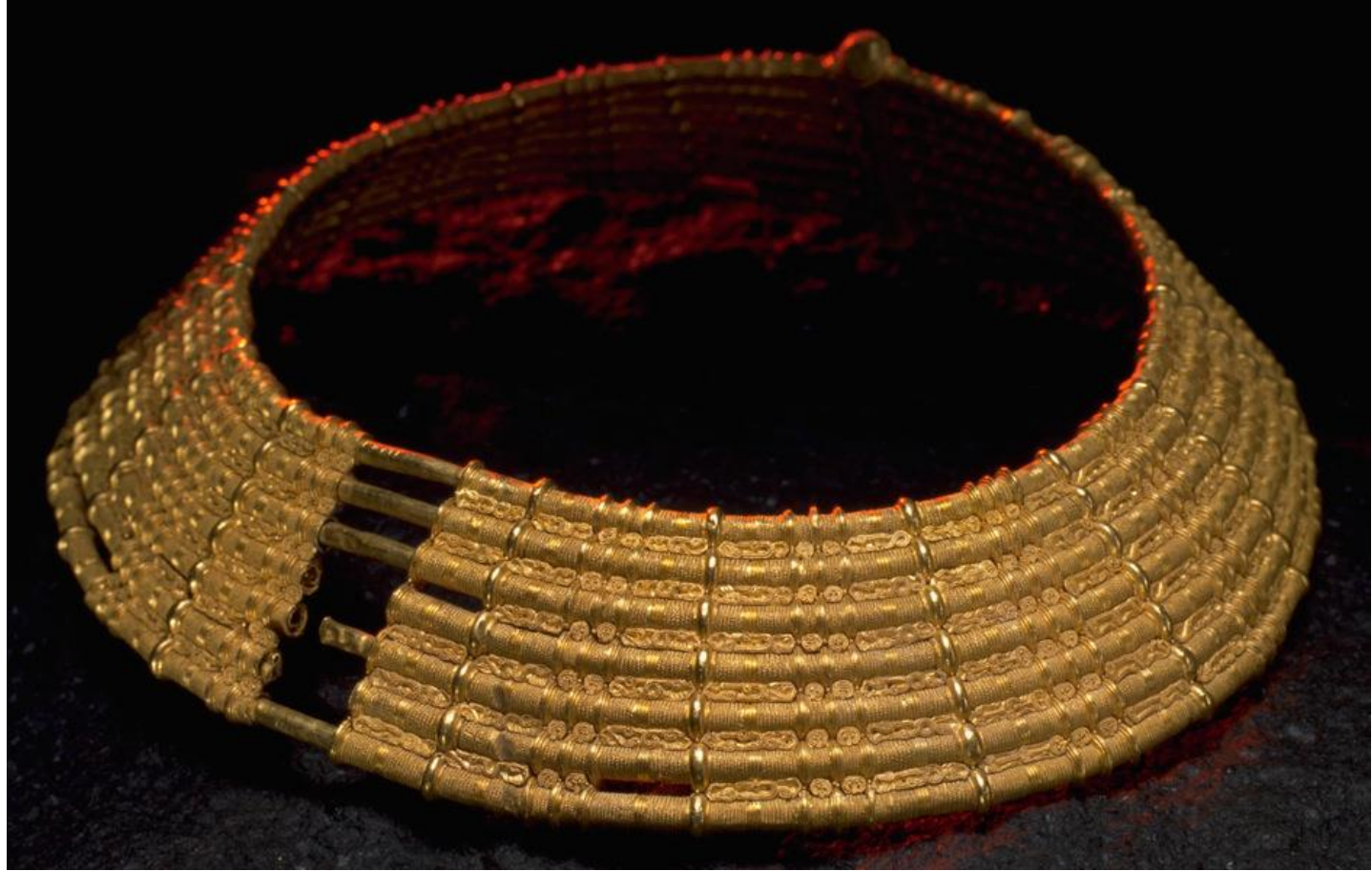


- Fornborgens Halleberg:
ca 2250 ha
- Torsburgen på Gotland:
112,5 ha
- Broborg, störst i Uppland:
ca 0,0283 ha



Men följ gärna
pengarna och
värdesakerna!

Var fanns
guldet?



- **En** halskrage har påträffats på Öland
- **Två** i Västergötland
- **Ingen** i Sverige i övrigt
- Källa: Statens Historiska Museum, Stockholm

Förhistorisk krigsföring, förnödenheter

21 · Svend E. Albrethsen

Logistical problems in Iron Age warfare¹

"Even though weapons have become more powerful and the problems of battlefield more complex, the art of war is fundamentally the same today as it was in the ancient world."
*Field Marshal Montgomery*²

When we were planning the symposium about Military Aspects of Scandinavian Society and were discussing which topics should be covered, it became obvious that there was one topic missing from the list, namely the logistical element of warfare, i.e. the supply train with all that this entails. As no-one else felt moved to deal with the logistic aspects of the military, the author had to take on the problem. From the start it was clear that the task was almost impossible. How could one investigate logistical aspects of the military in the Iron Age on the basis of archaeological evidence and virtually no written sources?

In an attempt to carry out the assignment it was necessary to choose rather an unconventional approach, trying to look at the subject quite literally from both sides. Firstly to see how the Roman army – the army which set military standards right up into medieval times – solved its logistical problems and secondly to look at solutions to the same problems in later times.

The starting point has been the quote from Field Marshal Montgomery cited above.

A number of basic factors have to be satisfied in order for a given army, regardless of its size, to wage a successful campaign. These can be summarised as follows:

- Discipline and training (fig. 1)
- Tactics
- Weapons
- Intelligence

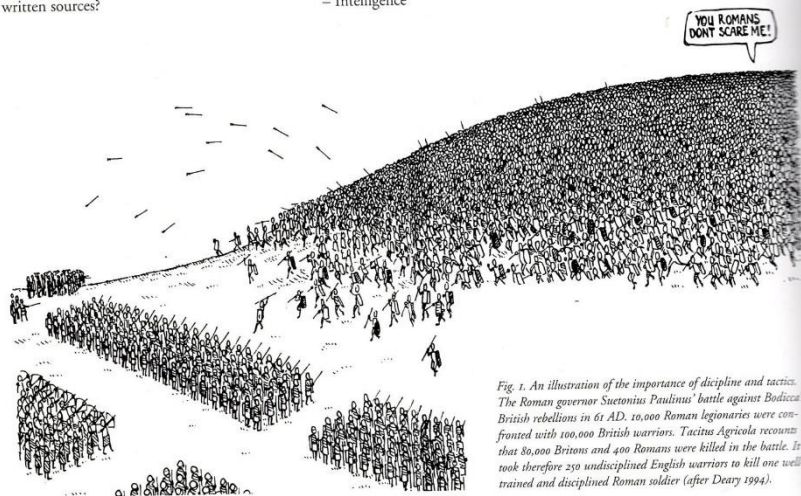
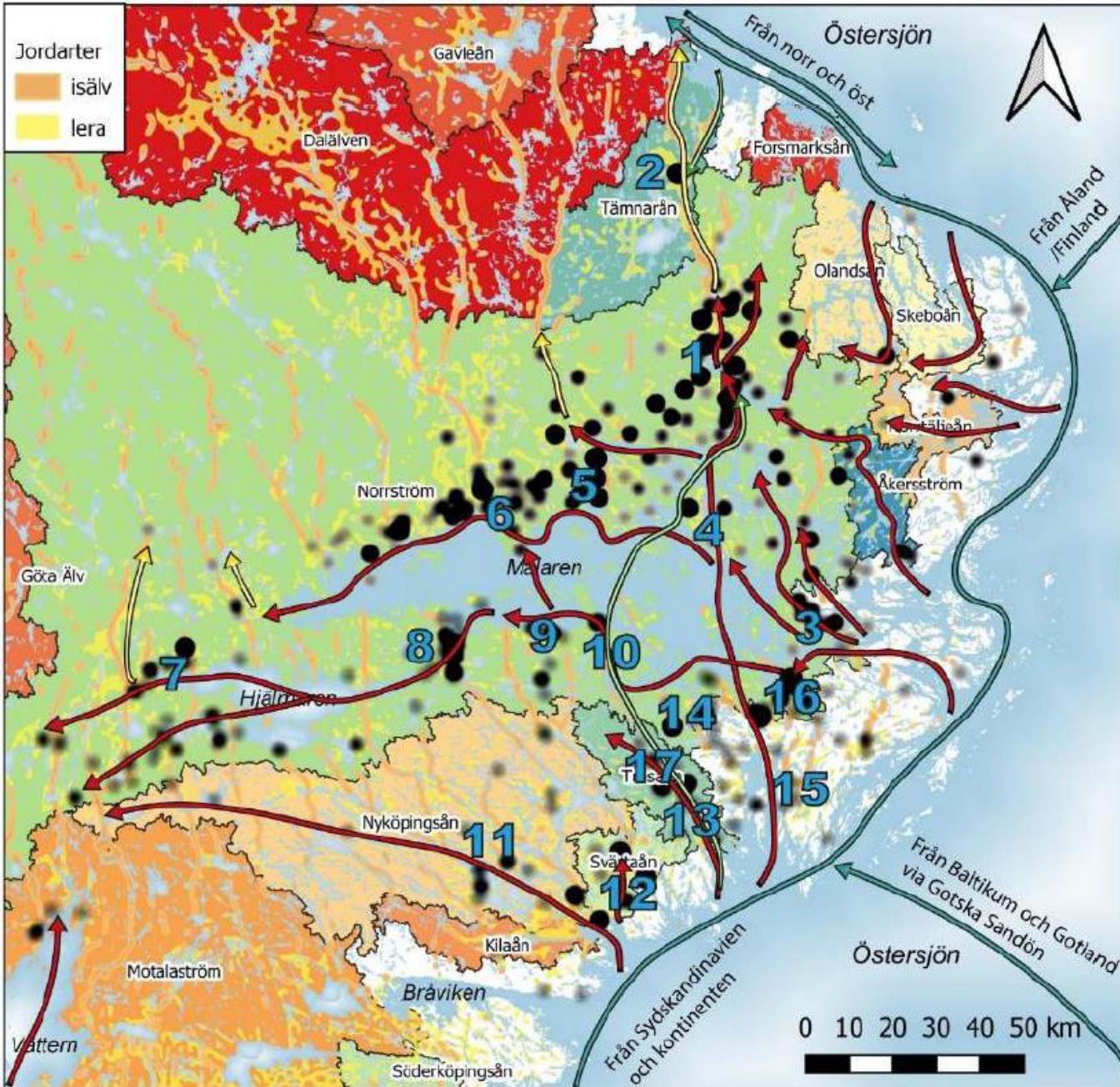


Fig. 1. An illustration of the importance of discipline and tactics. The Roman governor Suetonius Paulinus' battle against Bodicca's British rebellions in 61 AD. 10,000 Roman legionaries were confronted with 100,000 British warriors. Tacitus Agricola recounts that 80,000 Britons and 400 Romans were killed in the battle. It took therefore 250 undisciplined English warriors to kill one well-trained and disciplined Roman soldier (after Deary 1994).

- Få har skrivit om s. k. tross i ett nordeuropeiskt perspektiv
- Har bara hittat denna källa
- Tross avgörande för bl. a. Karl XII, Napoleon & Hitler
- Att snöra av mellan soldater och tross
- Extra sårbart vid bro eller ed (vattenhinder)



Men hur var det i Sörmland?

- **OBS! OBS!** Figuren avser förhållanden under bronsåldern!
- Det fanns troligen flera vattenvägar från Östersjön och till Sörmlands inre
- Även till Hjälmaren och Mälaren

Fig. 15. Möjliga transportleder under bronsålder utifrån spridningen av brons, åsar och ett vattenstånd runt 1000 BC.



Bild 5. Namnkarta till Långhundraleden. Underlagskarta som för bild 4.

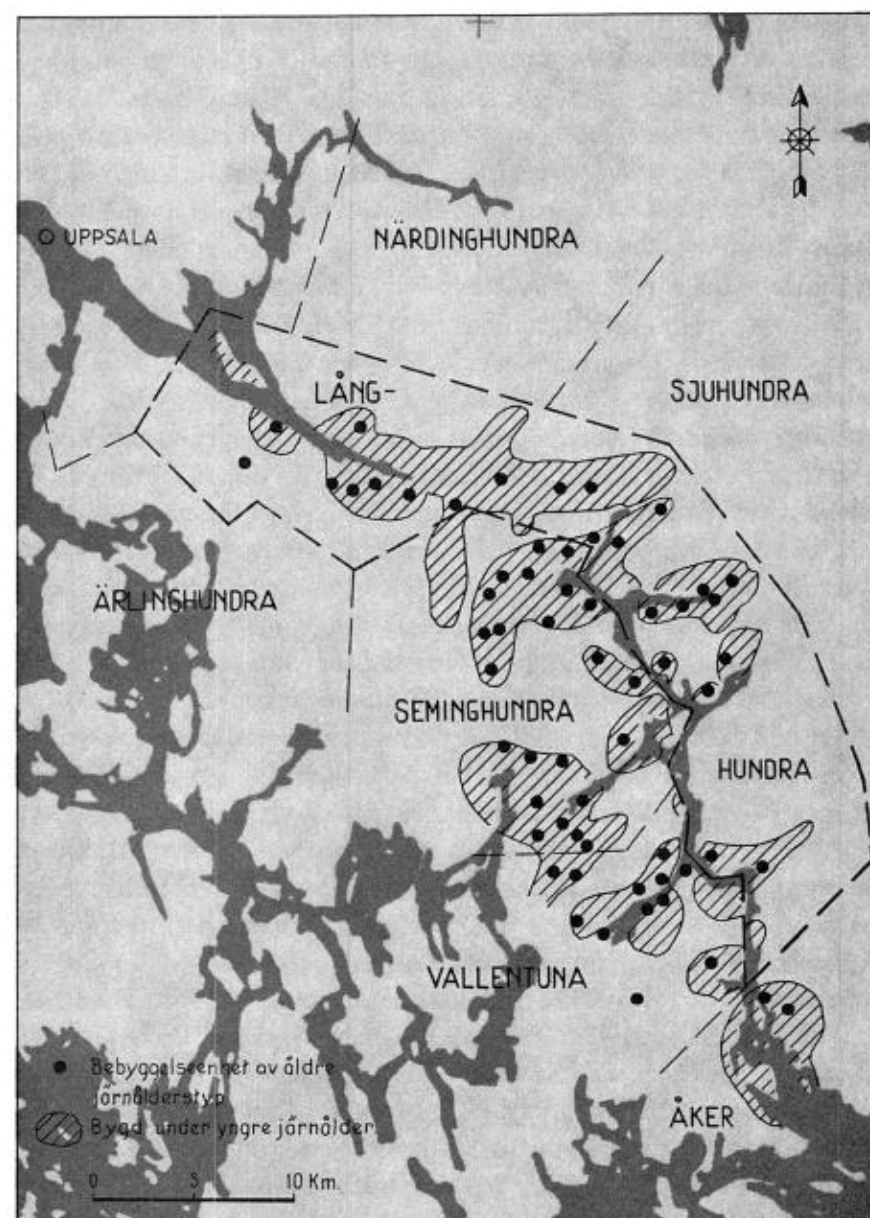


Bild 4. Bygd och häradsgrenser omkring Långhundraleden. Underlagskarta visar 10-metersnivåns strandlinje.



Utdrag ur Carta Marina från 1539. Observera vattenvägen som för tankarna till Långhundraleden. Notera också vattenvägarna i Sörmland.

Karta från tiden 1645 – 1664. Här finns
också Långhundraleden angiven



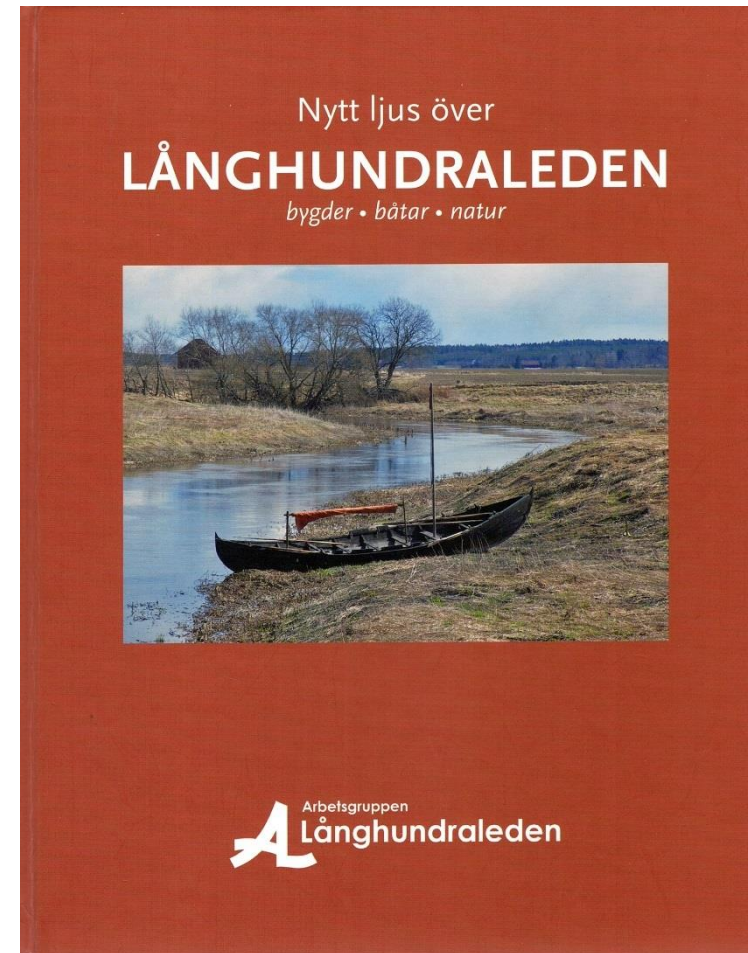
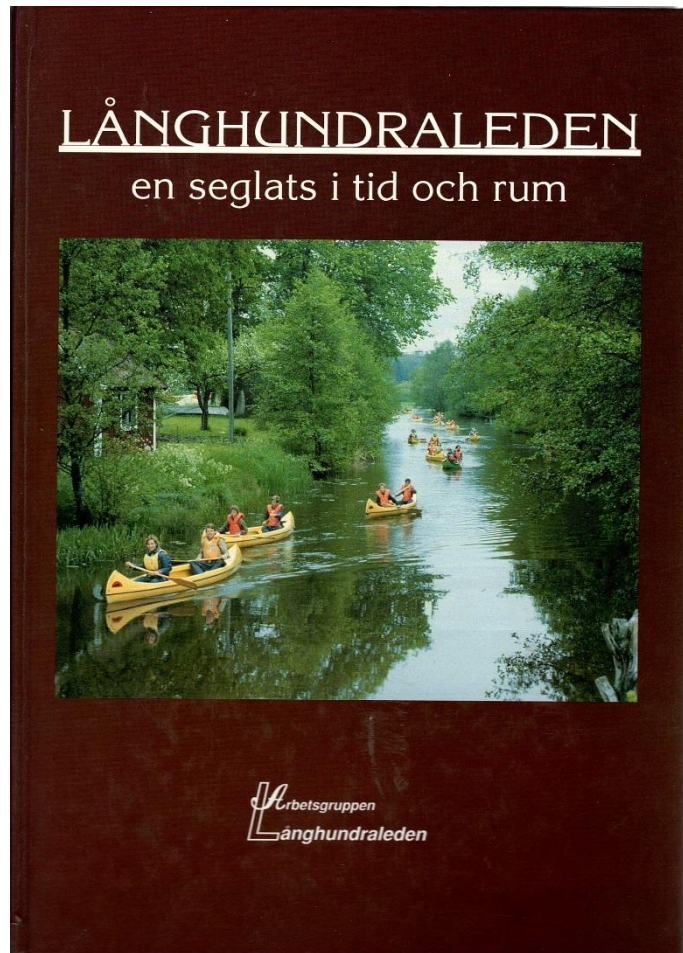
Arbetsgruppen Långhundraleden, en del av Sveriges Hembygdsförbund

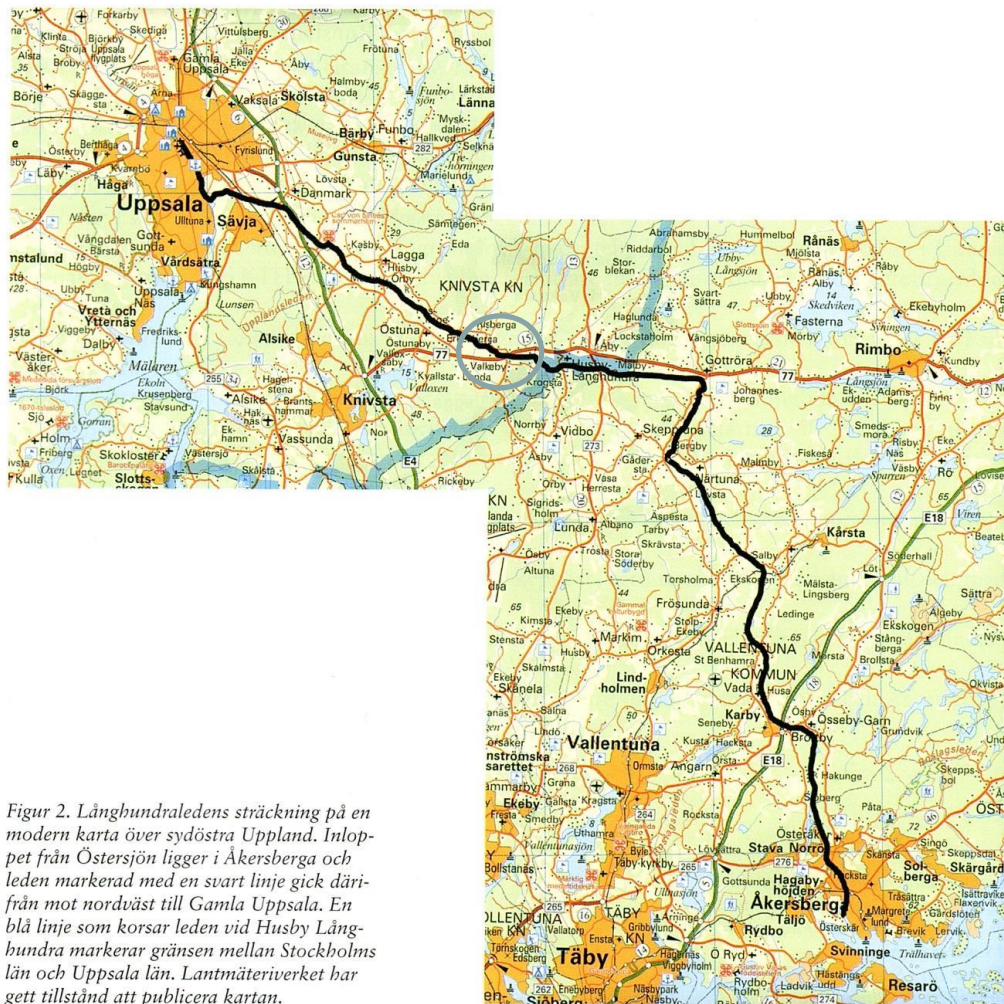
- Allmän informationssökning
- Utvecklingen över tid generellt
- Landhöjning och strandförskjutning
- Långhundraledens topografi
- Vattenavledning och dikning
- Båtar och sjöfart
- Forntida bebyggelse
- Landskapsutvecklingen

Arbetsgruppen Långhundraleden, helhetssyn genom

- Samverkan mellan amatörer och forskare
- Och genom att arbeta med de olika relevanta disciplinerna
- Gruppen var djupt engagerad vid den första utgrävningen vid Broborg
- Och har följt den andra med ett stort och positivt intresse

Så här ser böckerna ut





Figur 2. Långhundraledens sträckning på en modern karta över sydöstra Uppland. Inloppet från Östersjön ligger i Åkersberga och leden markerad med en svart linje gick därifrån mot nordväst till Gamla Uppsala. En blå linje som korsar leden vid Husby Långhundra markerar gränsen mellan Stockholms län och Uppsala län. Lantmäteriverket har gett tillstånd att publicera kartan.

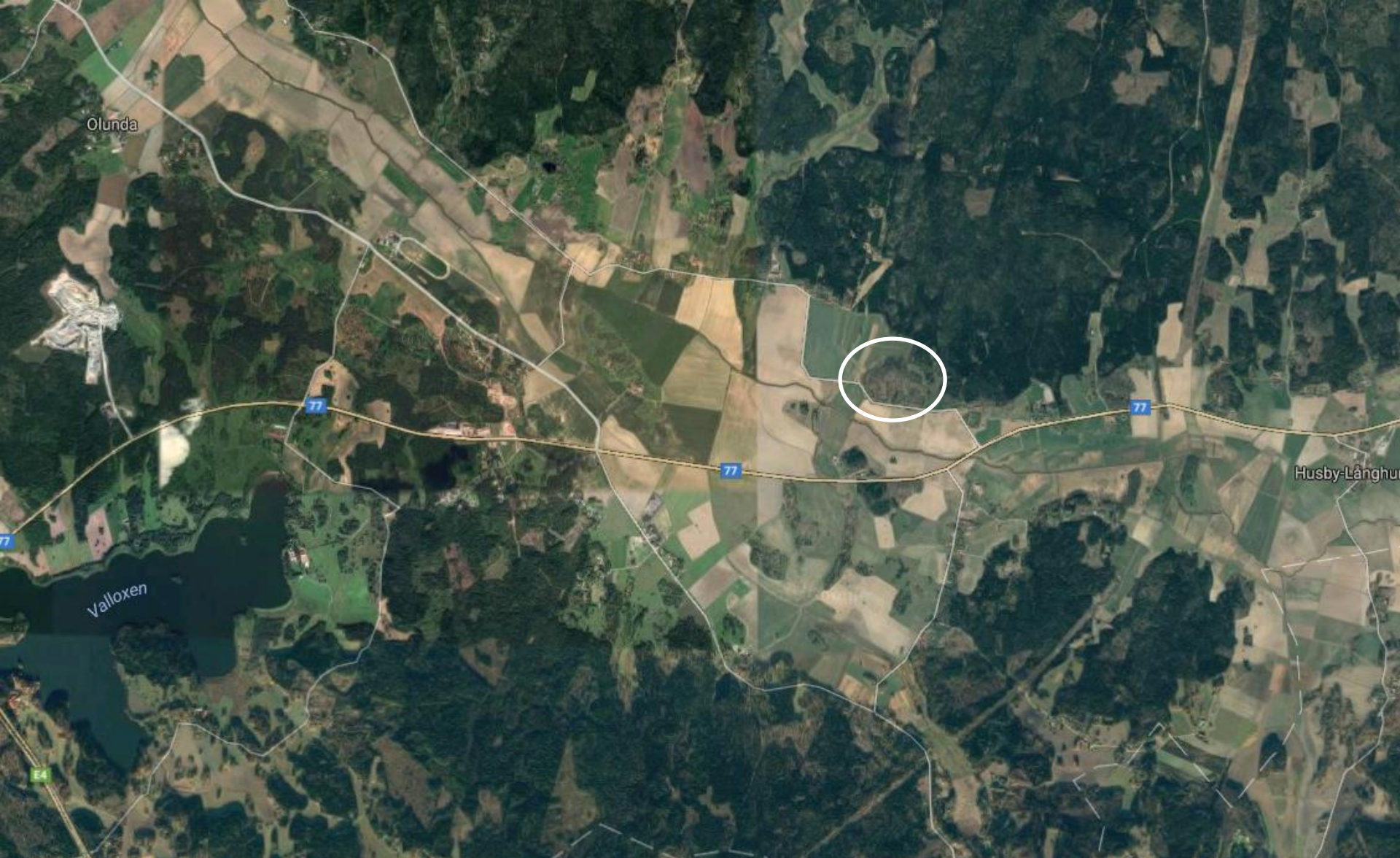
Långhundraleden sträcker sig mellan saltsjön och Uppsala.

Broborg ligger vid den gröna ringen, och från den ser man Storån samt mycket av omgivningarna.

Från sidan 8 i "Nytt ljus över Långhundraleden"



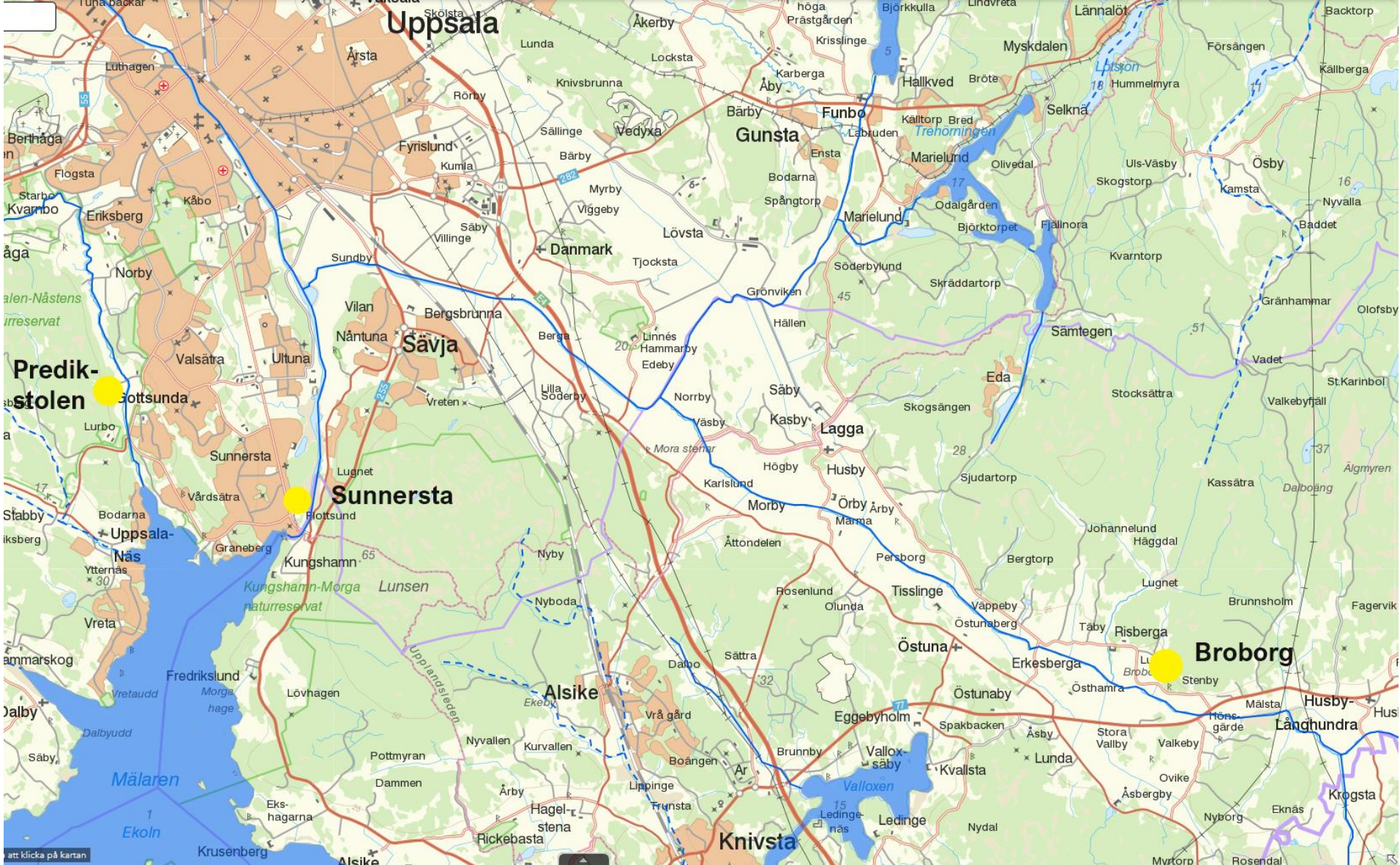
Själva fornborgen Broborg ligger upptill och i mitten.



Fornborgen Broborg
med närmast omgivande landskap



Fornborgen Broborg. I bakgrunden: Storån m. m.



Broborg som en av tre borgar som skyddade tillfarten till Gamla Uppsala

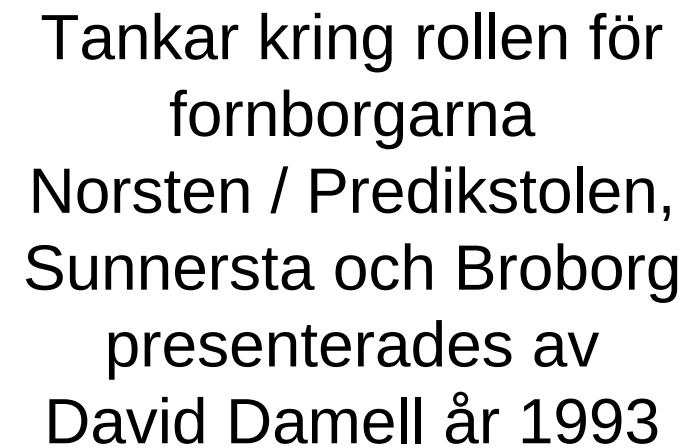


Fig. 4. Map of the Uppsala area showing the hillforts Norsten, Sunnersta and Broborg. The wall construction at Högsta in Bälänge parish is situated just outside the northern limit of the map. After Sundqvist, 1972.

Slutord

- Projektet har bekräftat Peter Krestens slutsats att glaset i Broborg har kommit till som en del i att bygga borgen
- Detta innebär att det i Sverige redan under folkvandringstiden fanns en metod för att bygga hållfasta och obrännbara murar
- Vi vet detta från:
 - undersökningar av glaset,
 - kunskap om relevant dåtida kompetens
 - samt de incitament som fanns för att skydda Gamla Uppsala

Slutord, fortsättning

- Projektet har också lett till kvalificering av fornborgsglas från Broborg som en antropogen analog till förglasat kärnavfall
- Detta utgör ett viktigt stöd för de säkerhetsanalyser som görs för slutförvaring av visst långlivat radioaktivt avfall

Mera om vårt arbete, se

<http://tekedo.se/>

och

<http://broborg.org/>

Uppdatering pågår och kan ta
upp till några veckor



Tack för att Ni har lyssnat!