

Ett hus i Sandby borg

Lipidanalys av jordprover från hus 4



Masteruppsats i laborativ arkeologi

Stockholms universitet, Arkeologiska forskningslaboratoriet

VT 2020

Ellinor Hedberg

Handledare: Sven Isaksson

Abstract:

The ringfort Sandby borg (Öland, Sweden) is dated to the migration period with fifty-three house foundations. In 2016 house 4 was excavated and soil samples were collected over the original floor layer. This offered a great opportunity to use geochemical methods to study the building. In this study a lipid analysis was performed on thirty-one soil samples with Gas chromatography-Mass spectrometry (GC-MS). The aim of the study is to increase the knowledge about house 4, Sandby borg and other ringforts. The result showed traces from plant material with long-chained fatty acids (C24 and C26), alcohols (C26) and ω -hydroxy fatty acids (C24) which may originate from a possible fallen sod roof. No cholesterol indicating animal fat was detected even though some samples showed high C18:0/C16:0 ratio >0,5. Dehydroabietic acid (DHA) from resin, soot or smoke from conifers was detected in the middle and may originate from the hearths. Derivates of betulin and some lupeol was detected over the entire surface which may come from a roof covered with birch bark (common in sod roofs). Oleanolic and ursolic acid from fruits and berries were found over the entire surface as well and may originate from berry bushes growing on the roof. The different amount of organic compounds in the samples and the division of broader distributions of fatty acids in the front and narrower in the back indicate areas similar to the previous element analysis. The samples could not specifically be connected to the other features and artifacts in the house.

Nyckelord: Sandby borg, lipidanalys, GC-MS, folkvandringstid, jordprover

Tack till: Sven Isaksson för all handledning och vägledning i laboratoriet och dialog om litteratur, metod och resultat. Jag vill även tacka Lena Holmquist för uppmuntran och föreläsningar under kursen. Sist vill jag inte glömma bort att tacka Ludivg Pappmehl-Dufay för mejlkontakten och alla de som varit med vid utgrävningarna vid Sandby borg och på så sätt gett mig möjlighet att utföra det här arbetet.

Omslagsbild: Fotografi över hus 4 från utgrävningen 2016 av Sebastian Jakobsson.

Innehåll

Introduktion	1
Syfte och frågeställning	1
Bakgrund	2
Öländska ringborgar	2
Sandby borg.....	3
Hus 4.....	6
Material	11
Organiska lämningar.....	11
Biomarkörer.....	12
Lipider.....	13
Alkanoler	15
Steroler	16
Triacylglyceroler	17
Ketoner	17
Terpener	17
Metod	18
GC-MS.....	19
Insamlingsmetod	20
Preparering, extrahering och derivatisering	21
Analys och bearbetning.....	21
Problem och felkällor	22
Resultat.....	23
Diskussion.....	26
Slutsats	29
Fortsatt forskning	29
Sammanfattning	30
Referenser	26
Bilagor.....	36

Introduktion

I Sverige finns det 1100 fornborgar daterade från bronsåldern till medeltiden som varierar i utseende och funktion nämnda i fornminnesregistret. Många undersöktes i början av 1900-talet och dokumenterades inte väl vilket gör tolkningen av dem besvärlig och det behövs mer omfattande systematiska undersökningar i framtiden (Olausson 1995). Fornborgarna på Öland avviker från fastlandet med sin ovala form och placering på plan mark, därav ringborg (Almgren 1904), och nämns tidigt av Stenberger 1933, framförallt Gråborg, Ismantorp och Eketorp. En ringborg som har hamnat i nytt fokus är Sandby borg genom flera utgrävningar mellan 2011-2018. Det unika med platsen är att borgen utsattes för en massaker och att den lämnats förhållandevis orörd vilket ger möjlighet att studera vardagslivet under folkvandringstiden (Victor 2016). År 2016 grävdes hela hus 4 ut och jordprover togs över hela ytan vilket ger ett utmärkt tillfälle att studera ett fullständigt hus med geokemiska metoder. Kemisk analys har en relativt lång historia inom laborativ arkeologi då det finns ett samband mellan förhistorisk mänsklig aktivitet och de biokemiska sammansättningarna i marken. Elementanalys av oorganiskt material från jordproverna genomfördes 2017. En noterbar framväxande metod är lipidanalys av organiska substanser i jord vilket skulle vara ett perfekt komplement till den tidigare studien. Avsaknaden av information om ringborgar, tillgängligheten till ett bra material att utforska och introduktionen av en relativt ny teknik som komplimenterar tidigare undersökningar motiverar det här arbetet.

Syfte och frågeställning

Syftet med studien är att öka förståelsen av hus 4 och Sandby borg genom geokemisk lipidanalys av jordprover med gaskromatografi masspektrometri (GC-MS) som jämförs mot den föregående elementanalysen, fynd och anläggningar och på så sätt bidra till kunskapen om ringforten.

Frågeställningarna för undersökningen är:

- Vilka typer av organiska lämningar kopplade till mänskliga aktiviteter kan identifieras med lipidanalysen?
- Implikerar lipidanalysen en annan indelning eller användning av hus 4 än tidigare elementanalys, anläggningar och fynd?
- Huset har tolkats som ett specialiserat hantverkshus. Skiljer sig spåren i huset från hus/byggnader som tolkats som bostadshus?
- Passar tolkningen av huset in i nuvarande forskningsfält om ringborgar och husens uppbyggnad under folkvandringstiden?

Bakgrund

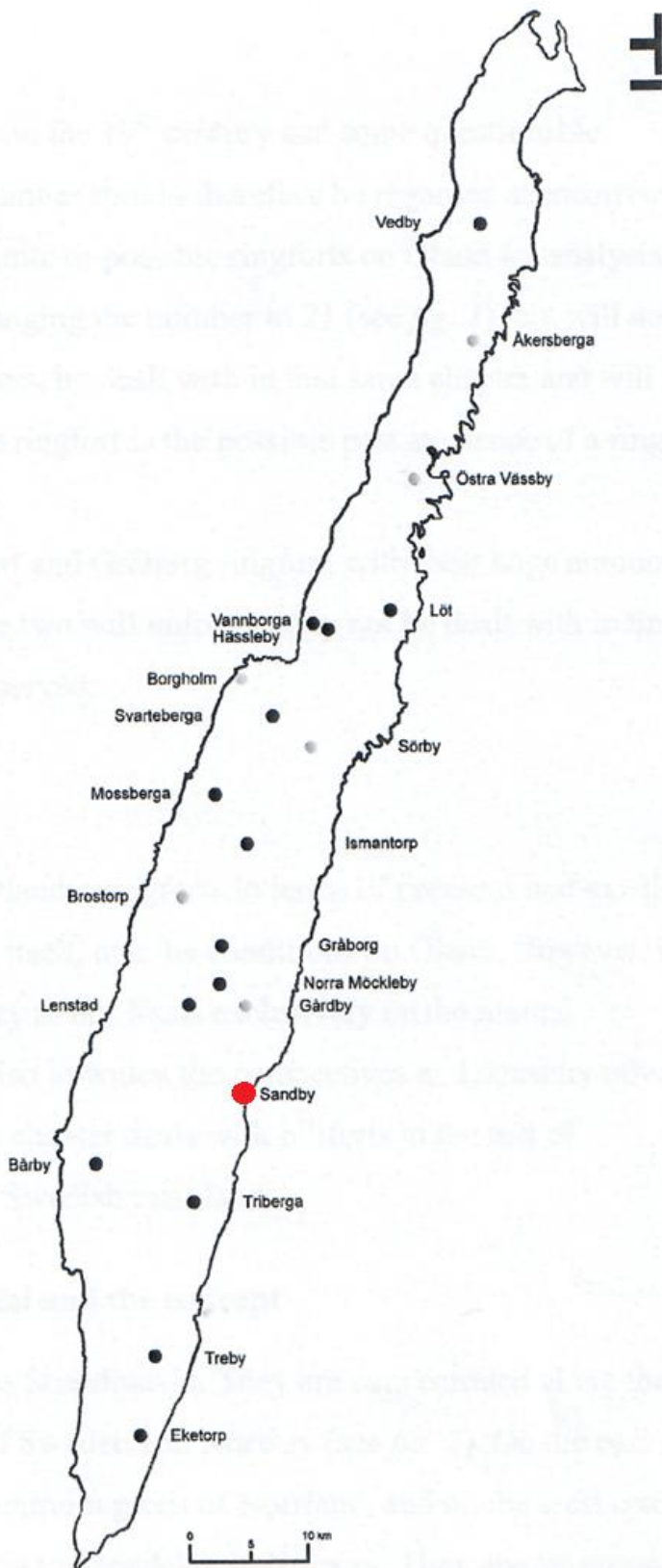
Öländska ringborgar

Fornborgarna i Sverige skiljer sig åt kronologiskt (i tid), spatialt (lokalisering), morfologiskt (utformning) och i byggnadsdetaljer och storlek vilket implicerar flera olika funktionella skillnader (Olausson 1995). De kan ha använts för försvar, som kultplatser eller inspirerade av romerska härläger. De flesta av dem undersöktes i början av 1900-talet och kunskapen om dem har varit fragmentarisk med luckor i metodologin och teorin (Olausson 1995:236). Det finns brister i tolkningen utan att se på kontexten (Ambrosiani 1964:177) och avsaknad av dokumentation i äldre undersökningar (Olausson 1995:22). Som Stenberger (1964) noterade, mer omfattande och systematisk forskning behövs i framtiden. Med andra ord, den tidigaste forskningen om fornborgar har brister i metod och teori och behöver nya tolkningar i takt med ny kunskap och utvecklandet av nya analysmetoder.

Den mellersta järnåldern (200-600 e.v.t.) på Öland kännetecknas av hierarkiska samhällen där den religiösa, sociala och ekonomiska makten tillhörde den styrande eliten med sociala nätverk som sträckte sig in till romarriket (Näsman 1984). Genom inhägnadssystemen på 200-talet blev åkrarna statiska och odlingslandskapet organiserades bland annat genom stensträngssystemen på Öland, Gotland och centrala Sverige. Vid tiden ändrades även bosättningarna från ensamgårdar till byar (Pedersen & Widegren 1998). Under järnåldern blir skalkorn den dominerande grödan men även havre och råg ökar i betydelse (Grabowski 2014).

Försök har gjorts att dela in Öland i olika centralplatser. Enligt Fabech och Ringtved (1995) dyker centralorterna inte upp förrän romarriket var på nedgång och våtmarkskulten upphörde. De utvecklade även en modell för att dela in områden i centralorter baserat på att sortera fynd efter deras exklusivitet. Centralplatserna på Öland under romersk järnålder och folkvandringstid är centrifugala vilket betyder att funktionerna för centralplatsen delades upp på flera platser i omgivningen. Kultplatser, fornborgar, storgårdar, hamnlägen och guldfynd återfinns en bit från varandra men tillsammans (Näsman 1991). Exklusiva fynd över hela Öland tyder på att hela ön var rik under folkvandringstiden (Gustavsson 2014).

Fornborgarna på Öland skiljer sig mot de på fastlandet som var placerade på berg, kullar och andra placeringar som var lättare att försvara. Då Öland har ett platt landskap fick befolkningen använda andra lokala byggnadstekniker som kallmurade kalkstensmurar (Almgren 1904, Wegraeus 1974:33). Fornborgarna på Öland är placerade på alvar, kalkstensslättland med sparsam vegetation och har en symmetrisk oval utformning, därav namnet ringborgar. Det finns 15 kända fornborgar på ön och ytterligare tre från kartor och antikvariska källor (Andrén 2014:77). Inom forskningen om fornborgar har de 15-19 ringborgarna på Öland daterade till folkvandringstid och medeltid en särställning och undersöktes tidigt av bland annat Mårten Stenberger (1933), särskilt Gråborg, Ismantorp och Eketorp. De byggdes under folkvandringstiden, en era av förflyttning och kontakter med romarriket under järnåldern. En viktig händelse vid tiden var Västroms fall 476 e.v.t. Några av forten återanvändes under medeltiden. I Ismantorps borg (200-600 e.v.t.), identifierades 88 radiella husgrunder. Eketorps borg undersöktes grundligt 1964 och 1972 vilket publicerades i tre delar av Vitterhetsakademin. Borgen var i bruk sedan folkvandringstid till medeltid och kan delas in i tre faser. I fas två (400-700 e.v.t.) hade även Eketorp radiella husgrunder.



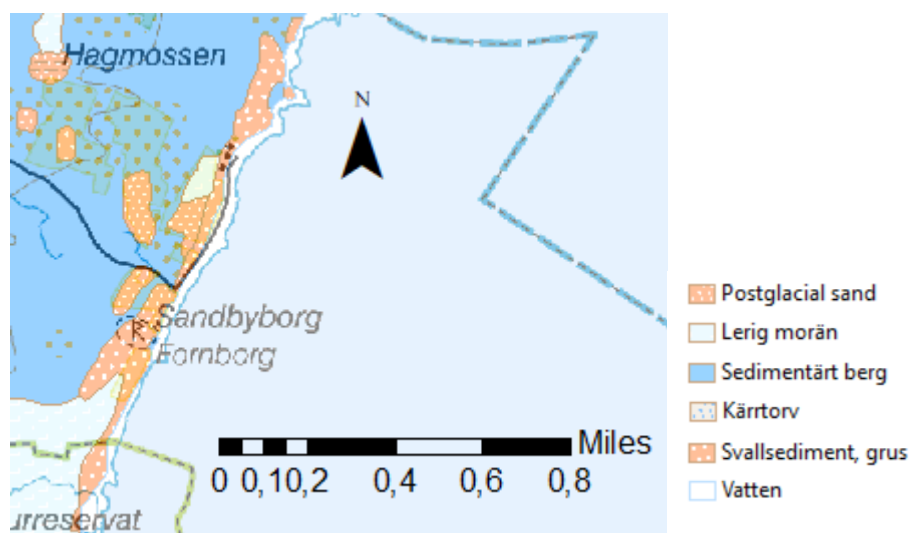
Figur 1. Karta över ringborgarna på Öland med Sandby borg utmärkt (Holmring 2014:4).

Det finns ca 1300 husgrunder på Öland från 200-700-talet och de flesta finns i ringforten (Andrén 2014:81, Holmring 2014:34). Borgarna var placerade mellan bosättningarna (Andén 2014:83). Fynden i borgarna tyder på en elit med kontinentala kontakter som bronsfibulor, förgyllda reliefspännen, romerska guldmynt, pärlor och glasföremål (Holmring 2014:44f). De öländska fornborgarna är uppförda på utmarker/allmänningar mellan bygder och byar och kan ses som gemensamma projekt för försvar och sammankomster d.v.s. centralplatser (Fallgren i Tegnér 2008:119f). Boskapen under järnåldern bestod av får, nötkreatur och mindre mängder svin. Som en parallell till Sandby borg är Gråborg som var i bruk under samma tid. Åldersstrukturen hos tamdjuren i Gråborg från folkvandringstiden tyder på en egen djurhållning inom/nära anslutning till borgen. Djuren hade slaktats innan vuxen ålder t.ex. utslaktning av årslamm vilket tyder på att mjölkackor prioriterades. Bland det osteologiska materialet hittades även spår av mycket sjöfågel och strömming (Vretemark & Sten i Tegnér 2008:113ff). I borgen hittades även ett sädesförråd med förkolnade fröer. Fröerna bestod av korn, skalkorn, nakenvete, emmer, spelvete, havre, råg och av lindådra. Lindådra är en oljeväxt, t.ex. har en kaka av lin och lindådra hittats i Eketorp, och förvarades separat. Förvaringen av sädesslag tyder på att mjölmalning skett flera gånger i veckan i borgen. Övriga fynd var hönshirs, starrarter,

svinmålla/linmåra från gödslade åkrar, brudbröd, viol vilket kan säga något om landskapet runtomkring. Säden kan ses som en maktsymbol då den t.ex. kan ha använts för öltillverkning vid storbondesgillen (Hansson & Bergström i Tegnér 2008:59ff). Öland var ett jordbrukssamhälle med stensträngar och djurhållning som formade landskapet under folkvandringstiden.

Sandby borg

Sandby borg (L1956:3453, Sandby 45:1) är en av ca 20 ringborgar på Öland och är daterad till folkvandringstiden, 400-550 e.v.t. Folkvandringstiden föregås av romersk järnålder 0-400 e.v.t. och efterföljs av Vendeltiden 550-800 e.v.t. Borgen ligger nere vid strandkanten ovanpå svallsediment i grus, postglacial sand och delvis på sedimentärt berg (se figur 2). Strandlinjen har inte nämnvärt ändrats sedan borgen var i bruk (SGU). Den första att omnämna Sandby borg var Rhezelius (1634) och Sjöborg (1822) ritade en skiss över borgen innan den beskrevs mer omfattande av Stenberger (1933).



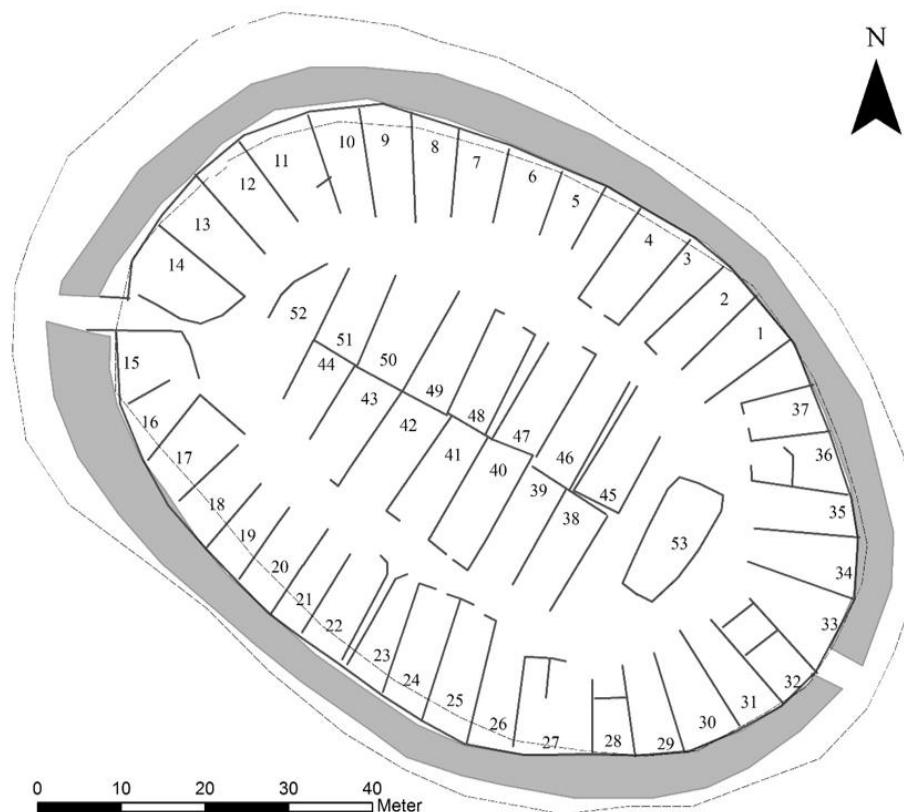
Figur 2. Jordartskarta över området runt Sandby borg.

Sandby borg, Sandby socken, ligger närmre havet än någon annan ringborg byggd på en låg strandvall (Stenberger 1933). Sandby borg är 104x70m omgärdad av en skalmur av kalksten med tre portar och utanför finns ett yttre befästningsverk med resta stenar i nordväst inåt land (se figur 3). Arkeologiska undersökningar och flygfoton har identifierat husgrunder i flertalet ringborgar på Öland. Sandby borg undersöktes mer noggrant med mark-radar (GPR) och en magnetometrisk undersökning vilket visade på 36-37 husgrunder längsmed kanten och 16-17 i mitten. Undersökningen visade även på en tredje port och inre konstruktioner i husen (Andrén et al 2014). Inuti borgen finns rester av 53 husgrunder (se figur 4). Husgrunderna ligger radiellt längsmed muren på ett liknande sätt som i Eketorp och Ismantorp (Victor 2016).



Figur 3. *Drönarfoto över Sandby borg tagit av Sebastian Jakobsson.*

Mellan 2011 och 2018 utfördes utgrävningar i borgen av Kalmar läns museum. Det första som hittades var fem smyckesdepåer med förgyllda spännen samt spjutspetsar, ett romerskt guldmynt och flera glaspärlor. Reliefspännena är stora prestigefulla föremål av hög kvalitet gjorda av förgyllt silver och dekorerade med djurkonst. De är dekorerade med Salin stil I och cirkelornamentik och kan typologiskt dateras till 450-510 e.v.t. Medan spännen var lokalt tillverkade är andra artefakter i deponeringarna som millefiori glaspärlor och silverhängsmycken av icke-lokal härkomst. Föremålen tyder på kontakter med sydöst, genom nuvarande Polen, Baltstaterna och det Romerska rikets områden (Alfsdotter et al 2018). I borgen har även en mängd skelett hittats som vittnar om en massaker. I borgen har det totalt hittats 26 personer hittills. Placeringen av de orörda kropparna och traumamönstret (det minimala men effektiva våldet) och den arkeologiska kontexten tyder på en massaker framför en strid. Den samtida sociopolitiska situationen var turbulent och det föreslagna motivet för massakern var för att skaffa sig makt och kontroll (Alfsdotter & Kjellström 2019). Sandby borg byggdes ovanpå gravar från 100-150 e.v.t. d.v.s. romersk järnålder (Papmehl-Dufay & Alfsdotter 2014). Detta kan tolkas som att de medvetet förstörde det gamla gravfältet och byggde hus ovanpå vilket gör att hämnd kan ha varit ett motiv för massakern. Vid en isotopanalys av 12 individer från Sandby borg var två av dem icke-lokala (Calleberg 2019). Dietstudier visade på en homogen protein diet med en blandning av terrestrisk och marint protein (Calleberg 2019, Eriksson et al, pågående). Stabil isotopanalys av sädeslag, främst skalkorn, från Sandby borg visade på höga värden av kväve vilket tyder på en intensiv gödsling av åkermarken. I borgen hittades skalkorn från flera olika skördar och verkar ha varit en del av dieten för människor och djur. Öland är ett av få områden med en bevarad kalkstensberggrund vilket förhindrar försurning och bidrar till att forma lämpliga odlingsjordar (Eklund 2019 och där hänvisad litteratur). ¹⁴C-datering bekräftar dateringen till folkvandringstid. Av de 53 husen har endast tre blivit helt undersökta, hus 52, 40 och 4 (Gunnarsson et al. 2015).



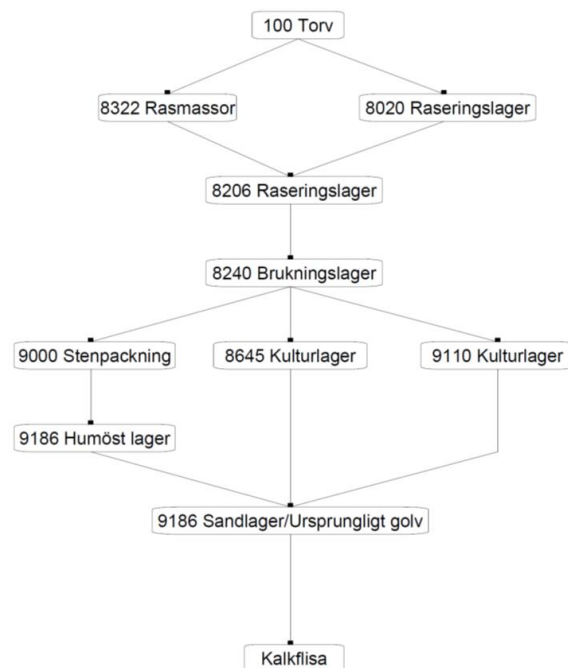
Figur 4. Plan över husen i Sandby borg efter Vibergs geofysiska mätningar (Viberg et al 2012, 2014).

Hus 4

År 2016 undersöktes och grävdes hela hus 4 i Sandby borg ut. Vid utgrävningen identifierades flera anläggningar kopplade till husets konstruktion och funktion som tre eldstäder, flera stolphål, arbetsytor, kalkstenshållar, stenpackningar och möjliga bänkar. I huset hittades även glassmältor, människo-/djurben, keramikskärvor, harts, järnföremål och järn/koppar legeringar (Papmehl-Dufay 2016, opublicerad rapport). Glassmältorna av importerat råmaterial i huset visar att huset har använts för pärltillverkning (Karlsson 2017). Hus 4 (se figur 4) är 14 m långt och 6,8m brett i norra änden och 5,5m i söder med väggar i skalmursteknik med kalksten. Huset är 12 m och 4,5m brett inuti och ingången ligger i den södra gaveln (Papmehl-Dufay 2016, opublicerad rapport).

De översta lagren i huset bedömdes vara rasmassor från borgvallen och huset och innehöll kalksten och sand (L8322, L8020 och L206, se figur 5). Under raslagren fanns ett 10-20 cm tjockt lager över hela huset där den översta delen tolkades som rester efter det förmodligen infallna torvtaket eller liknande (L8240). Under lagret med förmodade takrester fanns ett 15 cm tjockt lager där fyllningen bestod av ett humöst kulturlager låst stratigrafiskt av mänskliga kvarlevor och representerar husets sista brukningsfas (L8645). Lagret skars av flera anläggningar och en del låg under det. Lagret antas representera trampytan bestående av ackumulerat kulturlager. Lagret var väldigt fyndförande med människoben, djurben, brända ben, keramik, glas och metallföremål. Ett lager med mycket mörkt

humöst material (L9110) hittades i husets östra del och vara kraftigt fyndförande med obrända ben och en hundvalp hittades liggande direkt ovanpå lagret vilket gör att det verkar som om husets funktion skiljer sig mellan den västra och östra delen. Under trampytan fanns ett sandlager som utgör husets naturliga slutnivå (L9186) och under det framträdde kalkstensberggrunden (Papmehl-Dufay 2016, opublicerad rapport).



Figur 5. Matris över lager i Hus 4.

Tre härdar och en sotfläck identifierades inom husets utbredning. En sotfläck belägen bredvid stenpackningen A9000 centralt i husets inre del bestod av fet svart silt med inslag av kol och sot. En bit nedanför den framkom härden A9183 (se figur 6). Fiskben påträffades i både härden och sotfläcken. Härden A9183 hade en oval form i plan och innehöll rikligt med kolfragment med flera kvistar intakta. Fyllningen bestod av fet kol- och sot-silt med mindre inslag av fiskben. Härden var anlagd direkt ovanpå kalkhällen. Härden A8998 låg strax väster om mittaxeln i mellersta delen av huset. Fyllningen var svart och sotig och innehöll kolbitar. I härden framkom ben, vissa med vad som såg ut som slaktspår. Härden var anlagd direkt på berggrunden, med stenar lagda runt kanterna. Härden A8679 låg längs mittaxeln i den främre södra delen av huset och fyllde upp en svacka i den underliggande berggrunden. Kanterna på anläggningen var klädd med kol. Ben påträffades i anläggningen och i mitten och botten av anläggningen hittades vad som förefaller vara obränt trä (Papmehl-Dufay 2016, opublicerad rapport).

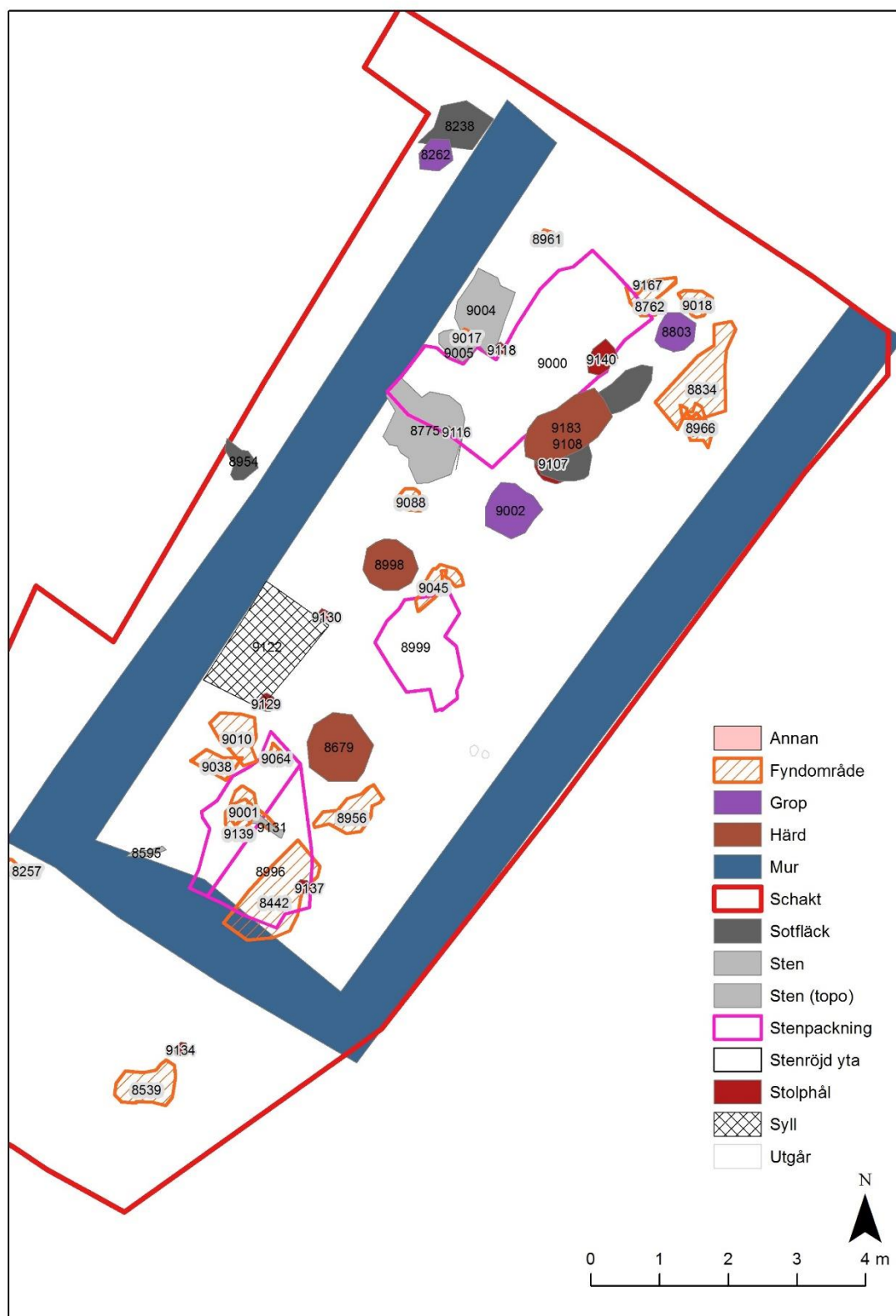
I huset identifierades sju stolphål varav två var större stenskodda stolphål och fem var mindre i form av mörkfärgningar. Det första stenskodda stolphålet (A9140) var ca 0,5x0,3m och var en stensamling i östra delen av stenpackning A9000 och låg direkt på berggrunden stenskött med ett tiotal 0,1-0,25m stora stenar och i fyllningen fanns ben och en bit av ett ämnesjärn. Det andra stenskodda stolphålet (A9107) låg längsmed mittaxeln 1,2m söder om A9140. Fyra av de mindre stolphålen var placerade på 90 cm avstånd längsmed husets västra långvägg. Stolphålen är inte placerade som

förväntat i ett treskeppigt hus vilket gör att det kan vara en tvåskeppig konstruktion. De fyra stolphålen längsmed den västra väggen var så små och nära placerade väggen för att ha ingått i en takkonstruktion men deras jämna avstånd och likformighet verkar ha tillhört någon form av konstruktion som bänkar. De två stenskodda stolphålen låg längs mittaxeln vilket stärker intrycket av att huset är uppdelat i två delar då västra delen består av ett hårt packat grusigt lager och den andra delen av ett mörkt och fett lager (Papmehl-Dufay 2016, opublicerad rapport).

Vid utgrävningen hittades 4 kg keramik fördelat på 2200 skärvor. Materialet var homogent vad gäller gods och käriformer. Merparten fanns i huset, mestadels längsmed mittaxeln i närheten av härdarna. Keramiken hittades i L8240 (ca 1,5kg) och L8645 (ca 1,8kg). I sydvästra hörnet med sänkt golv som tolkats som förrådsutrymme hittades ca 550 g keramik. 2,5m till vänster om ingången fanns 1,5kg keramik från verkar komma från samma kärl. Under en kalkstenshäll innanför ingången hittades delar av ett kärl. 0,5m längre in till höger hittades 1kg keramik från ytterligare ett kärl. I huset fanns även fynd av bränd lera och tre pärlor hittades i huset. I huset hittades föremål av järn och kopparlegering. I nordvästra hörnet hittades en järnplatta och ett skaft från ett verktyg (möjligtvis från glashantverk). Sju kopparlegeringar hittades inne i huset varav två var smältor i västra delen. Längst in hittades en klippbit av kopparlegering. De andra fynden var en sölja, två nitar och ett hänge. I den inre delen av huset hittades glasbitar från spill, smältor, droppar, råmaterial och slagg från glashantverk. En glättsten hittades längst in i huset och fynd av flinta. Vid undersökningen hittades 14 hartsfynd där flera av dem var olika typer av hartstätningar. En samling fynd av harts fanns vid stenläggningen A9000 och kan tyda på förvaring i askar. Där fanns en hartstätning från ett litet runt kärl ca 7-8cm. Vid den sydvästra gaveln fanns en rak hartstätning på ca 16 cm. Även mindre bitar harts fanns i området. Fynden av harts korrelerar med glasfynden och keramiken i förrådsutrymmet i sydvästra hörnet vilket gör att området har tolkats som "skafferii" (Papmehl-Dufay 2016, opublicerad rapport).

Fynden domineras av ben från djur och människor. De flesta är obrända men brända ben hittades i anslutning till härdarna. I huset hittades skelett från fyra människor, individ 12, 13, 14 och 15 (Alfsdotter 2019).

Vid utgrävningen av hus 4 togs jordprover för makrofossilanalys. I samtliga proverna fanns en levande fröbank och dagmaskkokonger vilket utgör en aktiv biologisk horisont. Bevarandegraden för organiskt material var låg. Av fröerna antas endast de förkolnade vara arkeologiska. I materialet finns inga spår av att huset har brunnit. Analysen visade på spår av matlagning utan specificering som obrända benfragment från däggdjur/fågel samt ben och fjäll från fisk. Det vegetabiliska materialet bestod av skalkorn, fragment av hasselnötskal och amorfa klumpar, möjligen bröd och ett fynd av en lök. I golvlagret fanns förkolnade små örtfragment som tolkats som tändmaterial (Papmehl-Dufay 2016, opublicerad rapport). Det enda sädeslag som hittades var skalkorn vilket även var det enda som hittades i Eketorp. Torvtak har ibland kunnat identifieras genom att rotfilten i taket förkolnats när huset brunnit men inga förkolnade rottrådar har hittats. Sandlagret i huset är 5-10cm tjockare än det på gatan vilket kan bero på att det delvis kan innehålla resterna av det instörtade torvtaket. Den senare bioturbationen har suddat ut alla strukturer som kan ha urskilt torvorna från takkonstruktionen (Papmehl-Dufay 2016, opublicerad rapport).



Figur 6. Anläggningar i hus 4.

Tabell 1. Tabell från makrofossilanalysen i hus 4 (Papmehl-Dufay 2016, opublicerad rapport).

Sandbyborg 2016		K	8803	8840	8486	8485	8645	8645	8645	8489	8679	8200	8200	8200	8821	
		P			8559	8568	8862	8863	8864	8730			8355			
			Stenig anläggning långt in i hus	Golvlager långt in i huset	Stolphål	Botten av	Golvlager i vänstra hörn	Där ludde grävde	Där ludde tror på glassmålta		Mittenhården	Ras i vänstra hörnet		Rasmasa ovan knadersten	Gåtan	Förkolnat objekt F8380, L8240
		Volym/l	1,2	1,1	0,9	1,1	1	1	1	0,8	2	1	3,1	1	1	
Vedartade växter	Träkol	•••		••		••	••	••	••	••	•••					
	Bark	•														
Örtartade växter	Strån och h örtdelar		•		••	••	••	•	•				••		•••	
	Rottråd/rotknöl			••	•											
Animalier	Hjärtmussla		•													
	Bivalvia (musselskal)	•									•	•••				
	Molusca (snäckor)	•										•••				
	Grodben		•									••				
Animaliska rester	Fiskben och fiskfjäll		••		•						•					
	Brända ben	•	••	••	••						••	•	•			
	Benfragment	•	••	••	••					••	••	•			••	
Obest	Förkolnade klumpar (bl. a. mat)				••						••	••	•	•		
Övrigt	Keramikfragment												•			
	Lerklining				•											
	Glasade mineralsmältor								•							
	Glas droppar			•												
Förkolnad frukt/frö	lat															
Ogr	Snärjmåra	<i>Galium aparine</i>	1				2						1			
Ins	Hasselnötskal	<i>Corylus avelana</i>		1								1				
Odlat	Lök	<i>Allium</i> sp.														1
	Sädeskom (oidentifierat)	Cerealiea indet.	1	2				1	5	1	1	1	1			
	Skalkorn	<i>Hordeum vulgare</i> spp. <i>vulgare</i>		2		1				5						
Oidentifierat	Problematica					1										

Under utgrävningen togs 92 jordprover över hela ytan för geokemisk analys varav 85-92 var från gränden intill. I kandidatuppsatsen "Ett hus i Sandby borg – elementanalys av jordprover från hus 4" (Hedberg 2017) gjordes en elementanalys med röntgenfluorescens (XRF) på 34 av jordproverna från den ursprungliga golvytan (L8645, se figur 5). I studien framträdde en tydlig gräns mellan den främre och bakre delen av huset vilket tyder på olika användning. Grundämnen som kalium och mangan från aska och järn och zink från metall/ghashantverk kunde kopplas till den bakre delen där glassmältor hittades. Matlagning kunde kopplas till den främre delen främst genom fynd i härdarna men även av fosfor och kalcium från organiskt avfall. Den förhöjda halten fosfor indikerade att mittaxeln och den bakre delen av huset användes.

Tolkningen baserat på fynden, anläggningarna, makrofossil- och elementanalysen är att huset både har använts som bostadshus med matlagning och som hantverkshus och att de olika delarna kan ha haft olika funktioner. Från beskrivningen av hus 4 ovan sammanställdes följande frågor:

Kan prov från/i närheten av härdarna synas i lipidanalysen och skiljer de sig från andra prov? Kan stolphålen synas i lipidanalysen? Kan hartstätningarna som hittats i sydvästra delen av huset kopplas samman med förvaring av mat? Kan det mörka humösa lagret 9110 ses i lipidanalysen? Kan

biomarkörer för skelettfynden hittas? Finns det spår av torvtaket? Bekräftar de hittade biomarkörerna de andra fynden?

Material

Materialet består av de organiska lämningarna i 31 jordprover valda med metodiskt urval över golvlagret (L8645, se figur 5) i hus 4.

Organiska lämningar

Organiska lämningar härstammar från växter, djur, insekter och mikroorganismer (Eriksson et al. 2011). De kan delas in i kolhydrater, proteiner, lipider och terpenier (Kögel-Knaber 2002) som har olika bevarandegrad (Amelung et al. 2008). Lipider är djurfetter, växtoljor, vaxer och harts som finns naturligt i växter och djur. Eller mer specifikt: "Lipider är fettsyror och deras derivat, och substanser relaterade biosyntetiskt eller funktionellt till dessa föreningar" (Christie 1981). Terpenier är kådor, hartser och tjäror. De flesta lipider och många terpenier är olösliga eller svårösliga i vatten och bevaras därför bättre i jorden. Växtavfall står för det mesta av jordmaterian (Kögel-Knaber 2002:139).

Organiska lämningarna är den bevarade versionen av strukturen vilken har genomgått transformeringar sedan de var levande och vi måste därför förstå förändringarna som har skett hos materialet innan döden. De kan delas in i tre kategorier: förändringar snart efter p.g.a. mänskliga handlingar, förändringar p.g.a. diagenes (nedbrytning av biologiskt material över tid) och förändringar efter utgrävningen t.ex. förvaring, konservering o.s.v. (Brown & Brown 2010:91).

Flertalet faktorer påverkar nedbrytningen av en forntida biomolekyl. Autolys sker direkt efter döden då biomolekylen attackeras av enzymer vilka helt kan bryta ner t.ex. lipider och de överlever endast om autolysprocesserna stoppas innan de är klara t.ex. genom torkning. De biomolekyler som överlever denna initiala fas har möjlighet att finnas med i det arkeologiska materialet. Därefter påverkas de av långsammare nedbrytning p.g.a. miljöfaktorer, kemiska och fysiska. Kemiska faktorer är vatten och syre som är en del av hydrolytiska och oxiderande reaktioner. Det är också möjligt att kemikalier som frigörs vid nedbrytningen av en annan biomolekyl kan reagera med och bryta ner en annan typ av biomolekyl. Fysiska faktorer är kosmiska, ultravioletta och geologiska sönderfall och värme. Dessa olika faktorer påverkan beror på biomolekylen och miljöfaktorerna den utsätts för. Mikroorganismer dras till organiskt material som är en energikälla och beror på miljön (Brown & Brown 2010:116). Dessa kan studeras i laboratorier eller genom direkt observation (Brown & Brown 2010:117). Vissa lipider är väldigt stabila och kan hittas i oförändrad form i tusen år gamla föremål t.ex. vaxer som är långkedjiga alkanolsammansättningar med få reaktiva grupper. Andra lipider bryts ner till relativt stabila slutprodukter (Brown & Brown 2010:128f).

Fotosyntes är den största källan till biomassan i alla levande organismer och står för det mesta av organiska materian i jord (Peters et al 2005:5). Den andra produktionen av organisk materia är nedbrytning av materien från fotosyntesen av organismer, heterotrofa mikrober (Peters et al 2005:8). Aerobiska mikrober oxiderar snabbt organisk materia från döda växter och djur under atmosfäriska förhållanden. Vattensedimentering av organisk materia sker under olika redox-förhållanden styrt av främst molekylärt syre (Peters et al 2005:10). Sedimenteringshastighet och kornstorlek påverkar även bevaringen av organiskt material (Peters et al 2005:13).

Organiskt material kan överleva inneslutet i porutrymmen som inte nås av enzymer från nedbrytande mikroorganismer, absorption på ytor eller infångade i karboniserade organiska lämningar i keramik m.m. (Evershed 2008:910). Flera miljöfaktorer påverkar nedbrytningen som temperatur, ljusexponering, grad av vattendränkning, oxideringsförutsättning m.m. Uttorkning är att föredra då mikrobiell tillväxt inte kan ske utan vatten eller vattendränkning vid syrefria förhållanden (Evershed 2008:910f).

Organiska lämningar finns i keramik t.ex. absorberade i kärnväggarna. Råvaror som identifierats är vegetabiliska oljor, animaliskt fett, marint animaliskt fett, hartser, växtfetter och bivax (Evershed 2008:903f). I kvarlevor från människor och djur som skelett med kollagen för stabil isotop och kolanalys i mjuk vävnad och i mumier (Evershed 2008:940f). I harts, kåda och tjära. Naturliga som deponeringar eller med arkeologiska föremål (Evershed 2008:905ff). Organiska lämningar finns bevarade i jorden. T.ex. 5 β -stanol för att hitta kökkenmöddingar, oanvända vattenvägar och fekalt material (Evershed 2008:906). Användning av gödsling, i växtmaterial, färgämnen och pigment i konst och textilier (Evershed 2008:907f).

Biomarkörer

Stabila ämnen som går att identifiera länge och är unika för ett visst biologiskt ursprung kallas för biomarkörer (Peters et al 2005). Biomarkörer är fossil från tidigare levande organismer och är komplexa organiska föreningar av kol, väte och andra element och ger mer information om sitt ursprung än andra sammansättningar (Peters et al 2005:3). De finns kvar längre då deras grundläggande struktur förblir intakt under sedimentering och diagenes och många är högt resistent mot biodegradering (Peters et al 2005:9). Biomarkörer används för att försöka matcha "kemiska fingeravtryck" till föreningar i kända och befintliga organismer vid tiden (Evershed 2008:898). Informationen från dem fås genom molekyllära analyser för att bestämma strukturer och spridning vilka jämförs mot existerande fauna/flora för att identifiera naturliga produkter som användes förr. Genom att mäta halten av olika ämnen är det möjligt att skilja mellan olika ursprung. Ämnenas koppling till arkeologi måste motiveras annars kan de kastas bort, de måste vara "realistiska alternativ" (Evershed 2008:899).

Grundläggande vid identifikation av biomarkörer är ursprunget som bestäms genom placeringen av kolatomer. Desto mer unik struktur på en viss ursprungsorganism desto lättare att bekräfta dess förekomst. Men i många fall är strukturerna förändrade. Förmågan att känna igen den ursprungliga sammansättningen eller källan hos en organisk sammansättning baserat på förändrade strukturer i kvarvarande lämningar är en viktig del av analys av biomarkörer vilket kräver kunskap om de kemiska och biokemiska mekanismerna och de troliga vägarna som är involverade (Evershed 2008:900). Förändringarna ger ytterligare information om lämningens livshistoria. T.ex. uppvärmning av fetter och oljor som skapar mer stabila produkter som långkedjiga ketoner som skapas när lipider värms upp över 300°C och ω (o-alkylfenyl)fettsyror med 16-22 kolatomer som skapas när omättade fettsyror värms upp över 270°C (Evershed 2008:901). Naturlig kåda/harts karakteriseras av sin fördelning av terpenoida kolväten och syror. I antik kåda/harts har flyktiga terpenier försvunnit och icke-flyktiga kan förändras genom uppvärmning och oxidering (Peters et al 2005:329). Biomarkörer används även för att identifiera tjära, mat och gödsling.

Strukturella skillnader mellan olika biomarkörer ger olika bevarandegrad där lipider klarar sig bäst då de är hydrofobiska men variation i nedbrytning sker även bland lipiderna. Växtvaxer med långa

kolledjor överlever exempelvis bättre än djurfetter (Evershed 2008:910). Då lipider är relativt resistenta mot kemisk och mikrobiologisk nedbrytning överlever de i relativt oförändrat tillstånd än andra typer av biomolekyler som DNA, proteiner m.m. (Brothwell & Pollard 2005:331). Lipider och terpener är svårslösliga i vatten och bevaras bättre och är därför lämpliga för analys. Men allt organiskt material bryts förr eller senare ner och därför är det viktigt att tänka på olika faktorer som klimat, temperatur, syretillförsel, fuktighet och pH-värde. Därför kan ämnen hittas i olika former (Peters et al 2005). Då ytterligare föreningar tillförs och omflyttning sker är det viktigt att redan innan bestämma vad man letar efter. Möjligheten att finna dessa material i arkeologiska lämningar varierar med de olika materialgruppernas kemiska egenskaper framför allt deras benägenhet att lösa sig i vatten, deras tendens att oxideras och deras motståndskraft mot mikroorganismer.

Lipider

Lipider är en bred grupp av sammansättningar som fetter, oljor, vaxer, steroider och olika hartser men alla är hydrofobiska, olösliga i vatten, och relativt resistenta mot nedbrytning av kemiska och mikrobiella processer (Brown & Brown 2010:54). Många lipider är fettsyror och deras derivat. Lipider innehåller triacylglyceroler, steroler, alkanoler och långkedjiga ketoner (Isaksson 2000).

Fettsyror är karboxylsyror med en kolatom bunden till en syreradikal (=O), en hydroxylgrupp (-OH) och en R grupp. Hos fettsyror är R-gruppen en kolvätekedja med olika antal kolatomer mellan 4-36 som är hydrofobisk men lösbar i organiska lösningsmedel. Kolatomerna är bundna till väteatomer. Ifall länkarna mellan intilliggande är enkelbindningar, vilket betyder att varje kolatom bär två väteatomer, kallas den för mättad fettsyra. Om det är ett eller flera par av kolatomer sammanlänkade med dubbelbindningar är fettsyran omättad (Brown & Brown 2010:55). De flesta fettsyror har ett jämnt antal kolatomer p.g.a. av sin syntes som länkar samman två kolatomer. En mättad fettsyra (utan dubbelbindningar) gör så att molekylerna kan packas tätt vilket ger den en högre smältpunkt och är fasta i rumstemperatur till skillnad mot omättade som är oljiga vätskor i rumstemperatur (Brown & Brown 2010:57). Fettsyror skrivs som M:N(Aa,b,...) där M är antalet kolatomer i kedjan och N är antalet dubbelbindningar där a,b,... indikerar antalet kolatomer innan dubbelbindningen. Exempelvis skrivs en fettsyra med 18 kolatomer och inga dubbelbindningar som 18:0 (Brown & Brown 2010:55f).

Omättade fettsyror är svåra att detektera i det arkeologiska materialet då deras nedbrytningsprodukter är ospecifika och kan inte användas för att bestämma närvaron av en viss fettsyra. Två nedbrytningsvägar skapar föreningar som kan agera som biomarkörer för omättade fettsyror. Omvandlingen av dubbelbindningen C=C i en enomättad fettsyra till en enkelbindning tillsammans med tillägget av hydroxylgrupper (-OH) till angränsande kolatomer. Den andra nedbrytningsvägen är omvandlingen av fleromättade fettsyror till stabila cykliska föreningar kallade ω (o-alkylfenyl)alkan syror som formas vid 270°C och ger flera olika produkter (Brown & Brown 2010:129). Många djurfetter är mättade då deras nedbrytningsprodukter är mer stabila (Brown & Brown 2010:130).

I av människan opåverkad jord dominerar vanligen rester efter nedbrutet växtmaterial vilket lämnar spår av sackarider, lignaner, hydroxy- och dikarboxylsyra och fettsyror, alkanoler och alkaner med långa kolledjor, med fler än 20 kolatomer (Kögel-Knabner 2002). Långkedjiga fettsyror med 20-30 kolatomer kommer uteslutande från växter och är en indikator för växtmaterial i jord (Amelung et al 2008:171). Fettsyror C28 och C26 kommer från lövfällande skogar och C24 och C22 från barrskogar

(Hjulström 2008:74). n-hexadekansyra ME (palmitinsyra C16:0) är vanligast i gräslandskapsjord (Saiz-Jimenez et al 1995:63). 3,4-dimetoxibensosyra (veratrinsyra) är vanligast i granskogsjord tillsammans med hummussyra, organiskt material i jord (Saiz-Jimenez et al 1995:64).

Den kolkedjelängd som det finns mest av kallas C_{max} och beror på vad för växtlighet som brutits ner. I depåfetter (lagrade fetter) från växter och däggdjur är fettsyrorna huvudsakligen korta kolkedjor, med mindre än 20 kolatomer. Domineras fördelningen av kortkedjiga fettsyror är det ett tecken på att depåfetter deponerats. Fördelningen kan även vara bimodal med en dominerande fettsyra med fler än 20 kolatomer och en med mindre än 20 kolatomer (Isaksson 2000). Fettsyror med 16 och 18 kolatomer är animaliska och fettsyror med 24 och 26 kolatomer är vegetabiliska (Peters et al 2005:61). För att få en indikation på om depåfetterna kommer från idisslare/icke-idisslare (späck, talg m.m.) eller växter (nötter, fröer o.s.v.) kan kvoten mellan stearin- (C18:0) och palmitinsyra (C16:0) beräknas. I depåfetter från växter dominerar palmitinsyran kraftigt och kvoten C18:0/C16:0 är därför låg. I fetter från landlevande djur kan istället stearinsyran dominera och kvoten C18:0/C16:0 bli högre. En hög kvot kan indikera bidrag från landlevande animalier om distributionen är bimodal (Christie 1981:20, Isaksson 2000, Hjulström 2008).

Fettsyror bryts ned av exempelvis värme och solljus (autoxidation). Omättade fettsyror bryts ned mycket snabbare än mättade. Vid nedbrytningen kan en lång rad kortkedjiga nedbrytningsprodukter bildas. Många är lösliga i vatten och transporteras bort, men vid upphettning kan en del fleromättade fettsyror omvandlas till ω-(o-alkylfenyl)fettsyror som är beständiga över arkeologisk tid. En annan reaktion mellan fria fettsyror kan leda till bildandet av långkedjiga ketoner. Även dessa kan brytas ned av de biologiska processerna i jorden. Ämnena kan dock undgå nedbrytning genom att adsorberas inuti godset på oglaserad keramik, inkapslas i korrosionen på metallföremål, kapslas in i aggregat i jorden eller adsorberas eller bindas till jordens mineraler eller organiska komponenter. Jord är därför ett lämpligt material att analysera för att hitta lipider. T.ex. har Artman och Alexander (1967) skrivit om fetter som skapas under uppvärmningsprocesser. Kumarathasan et al (1992) har undersökt autoxidation av linfrölja.

ω-hydroxyfettsyror är organiska fettsyror med raka kolkedjor med n antal kolatomer med en karboxylgrupp (position 1) och en hydroxyl (vid position n). ω-hydroxyfettsyror med fler än 12 kolatomer finns i löv och rötter hos växter (Mueller et al 2012:132). ω-hydroxyfettsyror med fler än 20 kolatomer finns mer i rötter än i löv och tyder på dominerande rot-kontribution till jordlipiderna (Mueller et al 2012:135ff).

ω-(o-alkylfenyl)alkansyror med 16, 18, 20 kolatomer som skapats genom upphettning tyder på marina produkter i arkeologiska kärl tillsammans med den isoprenoida fettsyran 4,8,12-trimetyltetradekanoisk syra och fytansyra (Hansel et al 2004). De långkedjiga omättade fettsyrorna C20:1 och C22:1 indikerar marint (Heron et al 2010:2194).

Fytansyra (3,7,11,15-tetrametylhexadekanoisk syra) bildas genom oxidation av fytol som är en sidokedja på klorofyll; t ex i växter eller fytoplankton (Brown & Brown 2010:60f, Lucquin et al 2016). Då fytansyra är en nedbrytningsprodukt av klorofyll är det en biomarkör för växter i jord (Isaksson 2000). Beroende på vilka mikroorganismer som hjälper till med omvandlingen av fytol till fytansyra kan olika stereoisomerer av fytansyra uppstå, med en av dem vanligare i akvatiska näringskedjor och den andra i idisslare (Brown & Brown 2010:60f). 3S,7R,11R,15-phytanic acid (SRR) finns mer i

marint/sötvattensfisk än 3R,7R,11R,15-fytansk syra (Lucquin et al 2016). Fytansyran 3S,7R,11R,15-fytansk syra kommer från marina däggdjur framför fisk (Schröder & Vetter 2011).

Lignanerna finns i flertalet frukter, fröer och grönsaker i växtcell vakuoler i form av glykosider och fanns främst i fröerna och i unga trävävnader framför grenar och stam. Fröer är en utvald plats för samling av ligan som sesam, bovete, linfrön, råg och havre (Bonzanini et al 2009:748). Willför et al (2006) har undersökt hur lignaner kan extraheras.

Alkanoler

Lipider från nedbrutet växtmaterial består till stor del av långkedjiga ($C_n > 20$) alkansyror, alkanoler och alkaner. Vid nedbrytning av alkansyror så ökar andelen av syror med längre kolkedjor (Hjulström & Isaksson 2009:176).

Alkanoler är organiska sammansättningar som härstammar från alkaner och är alkoholer då de har en alkohol (-OH) funktionell grupp bunden till sig. Alkaner består av kol- och väteatomer som kan variera i komplexitet. Alkansyror är också organiska sammansättningar som härstammar från alkaner men som innehåller en karboxylat (-COOH) funktionell grupp. Alkaner (alkoholer) kan reagera med alkansyror, glyceroler (till glycerider) och fettsyror (karboxylsyror) och skapa estrar som finns i animaliska fetter och vegetabiliska oljor. Exempelvis är estern mellan alkoholen tricentanol och karboxylgruppen hos fettsyran palmitinsyra d.v.s. bivax (Brown & Brown 2010:58).

Primära alkanoler med 20-34 kolatomer kommer från högre växtväxer och rötter medan alkanoler med 16-18 kolatomer kommer från bakterier och svampar (Amelung et al 2008:160ff). Ytvaxerna på terrestriska (landlevande) växter innehåller främst långkedjiga n-alkaner (<20) medan kortkedjiga n-alkaner (>20) är typiska för alger, svampar och bakterier (Amelung et al 2008:171). En stor fördelning av 26/30 kolatomer finns i Páramo vegetation, busk och grässtäpp (Amelung et al 2008:160ff).

De esterbundna kolhydraterna kutin och suberin bevaras väl i jord. Ytskiktet på alla luftdelar (blad, frukter, blommor, frön m.m.) på högre växter innehåller kutin, vaxer och ibland kutan. Suberin är en viktig del för alla skyddande lager som bark, trääktiga stjälkar och underjordiska delar (Amelung et al 2008:172). Kutin och suberin består av C16 och C18 ω -hydroxy-alkansyror. ω -hydroxy-alkansyror med längden >20 (mellan 20-30 kolatomer) finns i suberin och högre växtväxer. De med 14 kolatomer härstammar från ormbunkar, mossor och icke vedartade gymnospermer, nakenfröiga växter (Amelung et al 2008:160ff). ω -hydroxy-alkansyror >16 kommer från rötter av barrträd (Amelung et al 2008:172).

Långa fettsyror och n-alkanoler finns i löv och rötter i olika koncentrationer i olika träsorter. Lövfällande bredbladiga angiospermer (blomväxter) har mer n-alkanoner mellan 20-30 kolatomer än löv och rötter hos barrträd (Mueller et al 2012:133). n-alkanoler och n-fettsyror med över 27 kolatomer fanns endast i blad och löv (Mueller et al 2012:135). Olika träsorter har olika nedbrytningsgrad då de har olika tjocka löv och rötter. Löv (cutin) och rötter (suberin) är 80% av de flesta lipiderna i marken (Mueller et al 2012:136f). Andra vanliga marklipider är fettsyror mellan 16-20 kolatomer och n-alkanoler med 24 kolatomer som indikerar växtmaterial (Mueller et al 2012:138). Gräs och gräsrotter domineras av n-alkanoler med 26 kolatomer som finns i gräsvävnad (Mueller et al 2012 och där i hänvisad litteratur:135).

n-alkaner finns i alla blomväxter, angiosperms (högst i vintergröna växter med n-C31 efterföljt av lövfällande n-C29) men endast i 7/15 av gymnospermer (nakenfröiga växter). Kolkedjorna varierar mellan n-C23 och n-C35 i både angiospermer och gymnospermer. Angiospermer har mer udda n-alkaner n-C25 till n-C33 än gymnospermer och varierar efter funktion. n-alkanolerna har jämna kedjor mellan n-C22 och n-C34. Högsta mängden finns i lövfällande blomväxter vid n-C26. n-alkansyra finns mer i lövfällande blomväxter och vintergröna växter med max n-C22. De längsta n-alkankedjorna finns hos vintergröna växter med stor variation C26-C34 och i lövfällande blomväxter C27-C32 (Diefendorf et al 2011:7476). n-alkan mängden skiljer mellan blomväxter (25-31) och nakenfröiga växter (en del helt utan) och finns mer i vintergröna (29-35) än lövfällande (Diefendorf et al 2011:7477f). Löv, lövavfall och o-horisonten (podsolen) hos jord under löv och barrskog innehåller höga mängder långkedjiga n-alkaner. Biomarkörer för blomväxter är α och β -amyrin. Nakenfröiga växter har mer hydroxy-fettsyror och mindre n-alkyl lipider än blomväxter. Lipidmängden ökar med lövmassa per yta (Diefendorf et al 2011:7477f). På grund av att lövavfallsproduktionen är liknande än n-alkansignalen i jord dominerad av blomväxter vid mixade blomväxt/barrväxt skogar d.v.s. alkanerna kommer endast från blomväxter (Diefendorf et al 2011:7482).

Steroler

Många organismer använder samma ämnen för att syntetisera liknande föreningar men skillnader i biosyntes gör att små skillnader uppstår (Peters et al. 2005) som kolvätet skvalen som omvandlas till olika föreningar (steroler) beroende på vilken organism som står för biosyntesen. Många landlevande växter bildar fytosterolerna kampesterol, stigmasterol och β -sitosterol, Djur bildar kolesterol. Svampar bildar ergosterol (Isaksson 1998, Isaksson 2000, Peters et al 2005:61, Amelung et al 2008:160ff). Kolesterol är därför en biomarkör för animalt ursprung och kampesterol för växter. Förhållandet mellan 5α -cholestan- 3β -ol/ 5α -campestenol används för att bestämma detta (Isaksson 2000).

Steroler skapas genom cyklisering av skvalen, som är en triterpen som består av 6 isoprenenheter. Kärnan av en sterolstruktur har fyra kolväterringer varav tre har 6 kolatomer var och en har endast 5 kolatomer. Sterol är en annan stor lipidbeståndsdel i cellmembran och har (liksom andra membrankomponenter) en hydrofil huvudgrupp försedd med en hydroxylgrupp (-OH) och i de flesta fall en hydrofobisk kolvätekedja som en R grupp i andra änden av molekylen (Brown & Brown 2010:60f). Kolesterol, den kändaste animala sterolen, har en åtta kolväte R grupp med 6 kolatomer i en kedja med två fasta som interna grenar. Stigmasterol, den kändaste sterolen i växter, har en R grupp som är lika stor som kolesterol men som har en något annorlunda kolvätekonfigurering (Brown & Brown 2010:61).

Steroler kan i marken ombildas till 5α -stanoler som är en mer stabil grupp föreningar som kan bevaras mycket länge i marken (Isaksson 2000). Fytosteroler som kampesterol, stigmasterol och β -sitosterol finns endast i låga koncentrationer i kärlväxter men har specifika nedbrytningsprodukter (Amelung et al 2008:174). Om sterolerna passerat ett mag-tarmsystem innan de hamnat i jorden omvandlas de istället till 5β -stanoler som kan användas som indikatorer på fekal material (Isaksson 2000, Amelung et al 2008:174). Kolesterol kan reduceras till koprastanol (5β -cholestanol) och är en biomarkör för fekal material och mänsklig avföring (Amelung et al 2008:174, Brown & Brown 2010:130f). Koprastanol (5β -cholestan- 3β -ol) kan användas för att detektera fekal material vid gödsling eller där avfall dumpats exempelvis vid stallning (Hjulström 2008:74, Hjulström & Isaksson 2009:176). 5β -stigmastanol och C18/C16 kan vara biomarkörer för mejerier och boskapsanläggningar

och nedbrytning av klorofyll kan indikera stall (Rogge et al 2006). Matlagningsområden har identifierats genom analys av steroler och 5 α -stanol (Isaksson 1998). Sterolfördelningen mellan kolesterol/fytosterol var förhöjt vid intensiv daglig användning (Hjulström 2008:74).

Triacylglyceroler

De flesta naturliga fetter och oljor innehåller både fettsyror och derivat av dessa kallade triacylglyceroler eller triglycerider. Triglycerider består av tre fettsyror som har skapat en esterbindning (-O-) med en ensam glycerolmolkekyl. De med en eller flera omättade kedjor är ofta oljor. De flesta naturligt förekommande fetterna och oljorna är blandningar av mättade och omättade fettsyror och triglycerider (Brown & Brown 2010:57). Triacylglyceroler (TAG) är huvudkomponenten i fet vävnad hos djur, oljor, fröer, nötter och växter (Hjulström 2008:21). d.v.s. alkansyror med korta kolkedjor ($C_n < 20$). (Hjulström & Isaksson 2009:176).

Ketoner

Långkedjiga ketoner mellan 29-35 kolatomer kommer från uppvärmning av högre växtväxer (Evershed et al 1995).

Terpener

Terpener är den största sorten lipider från naturliga produkter och innehåller 25 000 olika föreningar, främst från växter (Brown & Brown 2010:54). Många är specifika för en liten grupp arter och är därför "perfekta" biomarkörer för att identifiera arter och hartsprodukter (Brown & Brown 2010:59). Alla terpener är baserade på kolvätet isopren och olika terpener skiljs ut genom antalet isoprenenheter de innehåller. De olika kolkedjelängderna står för en del av mångfalden men en oändlig mängd strukturella derivat för varje terpenklass står för en enorm variation och kallas för terpenoider (Brown & Brown 2010:60).

Terpener finns i kådor, hartser, tjäror, rök och sot från björk, tall och gran (Isaksson 2000) vilka används i tjära och lim so exploaterades förr. Harts från barrväxter består till stor del av diterpenoider som abietan, primaran och isopimaran (Amelung et al 2008:172) och björkbark (näver) innehåller triterpenoiderna betulin och lupeol (Brown & Brown 2010:60). För att finna spår av hanteringen av eld kan förekomsten av di- och triterpener i jorden undersökas (Isaksson 2000, Peters et al 2005:329).

Triterpener finns även i det vaxartade ytterskiktet hos flera växter. Sammansättningen av dessa skiljer sig åt mellan olika växter på olika nivå (Isaksson 2000, Peters et al 2005:329). Vissa kan skilja mellan gömfröiga och nakenfröiga växter, medan andra är mer specifika på familjenivå till exempel Pinaceae Betulaceae och enstaka på artnivå som *Panicum miliaceum* (Peters et al 2005:329).

Triterpenerna oleanol, ursol, lupeol och friedelin är biomarkörer för angiospermer, blomväxter (Amelung et al 2008:160ff). Oleanolsyra och ursolsyra förekommer i vaxlagret utanpå många kärlväxter, iögonfallande mycket i till exempel skalet på många frukter och bär (Peters et al 2005:329). Ursolsyra (3 β -hydroxyurs-12-en-28-oic) finns i ett stort antal växter (Cargning & Gnoatto 2017:479). Friedelaner i blomväxter finns främst i bark men även i andra växtdelar (Peters et al 2005:329). Shan et al (2015) har gjort en sammanfattning över all friedelaner. Två andra triperter som finns i vaxskiktet hos många växter är α - och β -amyrin (Peters et al 2005: 329). α -amyrin (3 β -hydroxy-urs-12-en-3-ol) och β -amyrin (3 β -hydroxy-olean-12-en-3-ol) finns i flera växter och växtmaterial som löv, bark, trä och kåda (Hernández Vázquez et al 2012:488). Friedelin, α -amyrin, β -

amyrin och lupeol finns i träbark eller i oxiderade 3-alkoholer som finns i gröna växter (Amelung et al 2008:172). Bossard et al (2013:52) fann spår av miliacin (olean-18en-3 β -ol metylester), α -amyrin, β -amyrin, friedelaner och glutinol i fröerna av hirs (*Panicum miliaceum*). Triterpenoiderna α -amyrin, β -amyrin, ursolsyra, oleanolsyra och betulinsyra har visat sig vara markörer för grödoftalt (odling) i jorden (Rogge et al 2007). Burnouf-Radosevich et al (1984:2065) letade efter huvudkomponenter i jonkromatogram från β -amyrin, α -amyrin, oleanol och ursolsyra och Moldovenau (2014:14f) visade hur oleanolsyra, betulinsyra och ursolsyra såg ut med GC-MS.

Det finns en mängd olika terpenener från olika sorts växter. En växt har flera olika terpenener. De kan ändras av värme och oxidering vilket gör att terpenener kan försvinna ur materialet vilket kan vara ett problem (Peters et al 2005:329). Auxadiation bryter ner kärn från växtmaterial till betulin, α/β -amyrin som finns i blomväxter (angiosperms) och dehydroabietinsyra (DHA) som finns i nakenfröiga växter (gymnosperms) och deras auxidationsprodukter, Betulin blir t.ex. Lupan-20-one-3 β ,28-diol och betulinsyra (Rontani et al 2017).

En biomarkör för barrväxter från exempelvis barrträdsved och rök från en eld är dehydroabietinsyra, DHA (Simoneit et al 2000, Hjulström 2008:74).

Metod

Metoden är molekyllär analys av extraherbara organiska ämnen, lipider, i jordprover från hus 4 i Sandby borg med gaskromatografi med masspektrometri (GC-MS) d.v.s. med en gaskromatograf kopplad till en masspektrometer för att hitta biomarkörer. Metodologin är både kvantitativ och kvalitativ med data som diskuteras i jämförelse med tidigare utgrävningar och analyser. Analysen utfördes enligt ett vid Arkeologiska forskningslaboratoriet etablerat protokoll för analys av extraktivämen i jordprover.

I de fall där det saknas synliga spår av mänsklig verksamhet i arkeologiska lämningar kan det ändå finnas kemiska spår av ämnen från nedbrytning av material som hamnat i marken. Mänskliga aktiviteter påverkar jordsammansättningen (Hjulström 2008:14) vilket gör det möjligt att studera arkeologiska platser med geokemiska metoder. En som upptäckte detta var Olof Arrhenius 1931 som visade på sambandet mellan förhistoriska bostadslämningar och förhöjda fosfatnivåer. Flertalet efterföljande analyser av oorganiskt material genomfördes medan biomolekyllära analyser av organiskt material var få fram till 2000-talet då det ansågs att det inte bevarades (Brothwell & Pollard 2005:295). Utvecklandet av moderna instrument och biokemiska tekniker som kromatografi och masspektrometri har gjort det möjligt att samla in, detektera och karaktärisera biomolekyler och deras nedbrytningsprodukter i arkeologiskt material (Hjulström 2008:15, Brothwell & Pollard 2005:295f, Evershed 1993). Studier av synliga organiska lämningar visade att det var möjligt att applicera lipidanalys/biokemi på arkeologiska problem (Evershed 1993, 2008, Brothwell & Pollard 2005:295). Internationellt så grundades analysen av organiskt material av Thornton et al 1970 och flera följande utredningar av organiska föreningar i organiskt material. Under 1980-talet stabiliserades den metodologiska utvecklingen och fokus skiftade till det arkeologiska källmaterialet och nedbrytningsprocesserna och kontaminering (Hjulström 2008 och där hänvisad litteratur). Biomolekyllär arkeologi håller fortfarande på att utvecklas (Brothwell & Pollard 2005:298) och används inom flera arkeologiska områden. I kontrast till lipider från känd källa beror den organiska fördelningar i jorden på flera olika biologiska, kemiska och fysiska processer vilket gör att möjliga sammansättningar att studera måste väljas ut i förväg (Brothwell & Pollard 2005:338). Isaksson

(1998) och Hjulström & Isaksson (2009) visade att lipidanalyser av jordprover kan användas för att identifiera aktivitetsytor.

Analys av organiska lämningar använder sig utav organiska kemiska analystekniker för att identifiera ursprunget av organiska lämningar som inte kan karaktäriseras med traditionella arkeologiska metoder då de antingen är amorfa (formlösa) eller osynliga (Evershed 2008:895). Metoderna utgår från att biomolekylära/biokemiska komponenter av organiska material kopplade till mänskliga aktiviteter överlever på flertalet arkeologiska platser och deponeringar (Evershed 2008:895). Analys av organiska lämningar är nu en etablerad disciplin inom arkeologi med allt fler arkeologer som börjar överväga organisk analys bland alla verktyg tillgängliga till dem (Evershed 2008:896). GC/MS gjorde det möjligt att separera och karaktärisera de molekylära komponenterna hos komplexa biologiska och miljömässiga material och ursprunget hos flera föreningar kunde bestämmas (Evershed 2008:896). Thornton et al 1970 var första som gjorde en kemisk undersökning av organiskt arkeologiskt material då de ville bestämma ursprunget hos forntida torvmossefetter med GC-MS. Arkeologisk identifiering av biomarkörer kräver upplösning på molekylnivå då alla organiska material på arkeologiska platser är blandningar t.ex. genom matlagning och förändring av sammansättningen genom nedbrytning vilket gör att området har en stark koppling till instrument som GC-MS (Evershed 2008:897f).

GC-MS

Den vanligaste analysmetoden för studiet av lipider är GC-MS då den kan skilja på komplexa blandningar av lipider som finns i arkeologiskt material. Metoden består av separering med gaskromatografi, GC, följt av en strukturell karaktärisering med masspektrometri, MS (Brown & Brown 2010:62). Proverna krossas och upplöses i organiskt lösningsmedel och derivatiseras. I gaskromatografen värms ämnena upp och separeras efter sin kokpunkt (molekylvikt) och samlas in med en masspektrometer (Brothwell & Pollard 2005: 331f) och jämförs mot en extern kalibreringskurva.

GC-MS är väldigt känsligt vilket gör att små mängder lipider från arkeologiskt material kan analyseras. Det viktigaste är dock försöken att förstå nedbrytningsprodukterna hos viktiga arkeologiska lipider. Då ingen av dessa molekyler är stabila beror upptäckten av forntida lipider inte på att identifiera originalföreningen utan demonstrationen av närvaron av nedbrytningsprodukter i det arkeologiska provet (Brown & Brown 2010:62f). T.ex. barrträdsharts och abietin- och pimarsyra i tjära som tillverkas genom upphettning av trä vilket förvandlar dem till pyrolysoxidprodukter innan nedbrytningen (diagenes) har påbörjats. Kunskap om pyrolysoxidprodukterna gör så att originalnärvaron hos den överlevande föreningen kan tydas och identiteten hos produkterna ger information om temperaturerna som uppnåddes under värmebehandlingen. Bakgrundsforskningen om nedbrytningsvägarna är essentiella för identifieringen av originalsammansättningen för källspecifik information om den forntida teknologin som skapade dem (Brown & Brown 2010:62f).

GC separerar lipiderna efter deras olika placeringar mellan en bärgas av väte eller helium d.v.s. rörliga fasen efterföljt av en stationär vätskefas i en kromatografkolonn då vätskan är bunden med kiseldioxid på insidan av kolonnen. Vätskeprovet måste vara flyktigt för att kunna bäras av gasen genom kolonnen så extrakten förbereds i ett organiskt lösningsmedel som en kloroform och metanolblandning. Det är ofta nödvändigt att utföra en derivatisering av proverna innan analysen vilket ändrar hydrofila och reaktiva grupper i lipidmolekylerna så att proven är mer flyktiga och

minskar möjligheten att molekylerna i provet reagerar med varandra under separeringen. Flertalet kemikalier kan användas vid derivatiseringen bl.a. N,O-bis(trimethylsilyl)-trifluoracetamid (BSTFA) som byter ut de reaktiva grupperna mot trimethylsilylgrupper. Alla BSTFA-produkterna kan förutsägas och analysen kan därför enkelt söka efter derivaten framför originalsammansättningen (Brown & Brown 2010:63). Hastigheten som lipiderna passerar genom kolonnen beror på delningskoefficienten som beror på den relativa lösligheten/flyktigheten hos lipider i vätske- och gasfasen och är löst baserat på kokpunkten för föreningen (Brown & Brown 2010:63f).

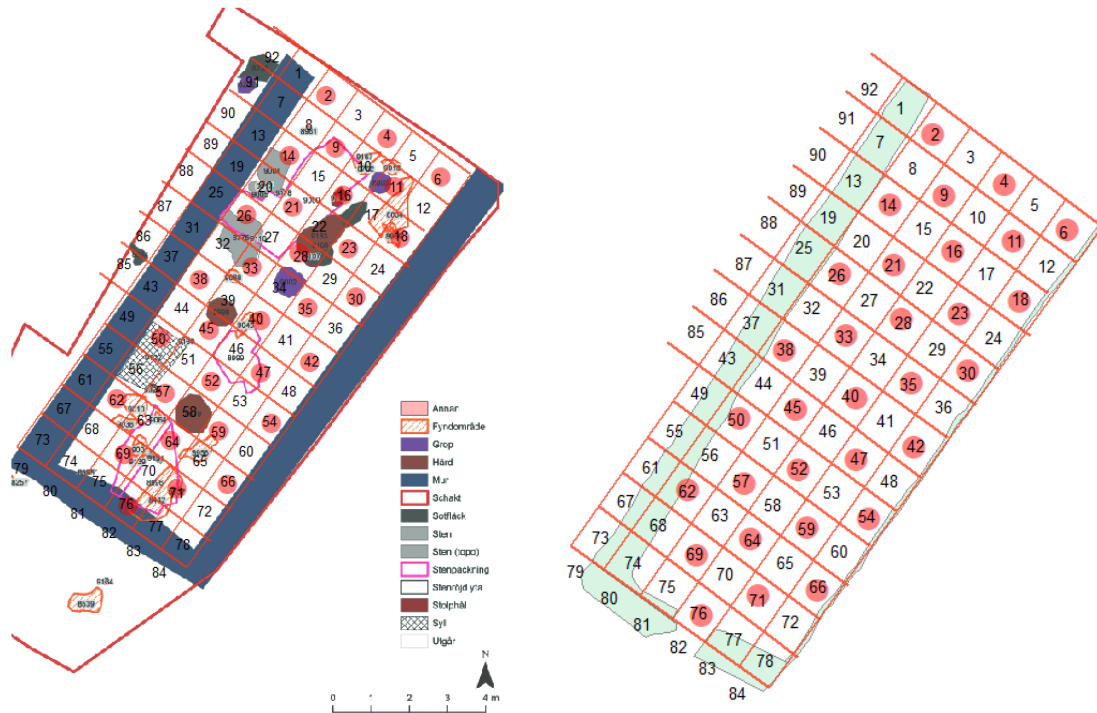
Ifall vätskefasen har valts noggrant kommer lipiderna man är intresserad av att reagera med kolonnen (och inte bara passera igenom den) genom att kontinuerligt absorberas i vätskefasen, släppning i gasfasen och återabsorbering i vätskefasen. För varje lipid bestäms balansen mellan absorption och frigörelse av delningskoefficienten. Desto mer balansen är satt mot absorbering desto långsammare passerar ämnet genom kolonnen. Lipiderna i proven separeras därför efter sin delningskoefficient och kommer ut i änden av kolonnen som rena fraktioner. Separeringsprocessen måste utföras vid en hög temperatur för att provet ska förflytta sig genom kolonnen i en resonabel hastighet och måste väljas noggrant. Oftast är temperaturen programmerad att öka från t.ex. 40° till 300°C med 5° per minut (gradvis) vilket gör det möjligt att studera flera olika lipider i samma körning. Topparnas höjdratio i kromatogrammen indikerar de relativa proportionerna hos de individuella föreningarna i blandningen så mängden av varje kan uppskattas genom jämförelse mot en intern standard med kända koncentrationer (Brown & Brown 2010:63f).

Masspektrometri är ett sätt att identifiera en förening genom massa och laddningskvoten (m/z) av den joniserade formen som skapas då molekyler utsätts för en högenergistråle av elektroner och kan i vissa fall få dem att brytas upp i förutsedda delar, fragmenteringsjoner. Molekyljonen och dess jonfragment ger ett fingeravtryck som gör så att sammansättningen kan identifieras.

När masspektrometern är kopplad till gaskromatografen analyserar den de individuella topparna som kommer ut ur kolonnen och skapar ett masspektrum som visar m/z värdena för molekyl- och fragmenteringsjonerna för en individuell topp tillsammans med sin relativa mängd (Brown & Brown 2010:64f).

Insamlingsmetod

Jordproverna samlades in i ett 1x1 m rutsystem över hela den ursprungliga markytan i huset (L8645) med hänsyn till strukturer och konstruktioner. Ur dessa gjordes ett metodiskt urval av 31 prover över hela ytan för analys. Vid insamlingen användes rena redskap mellan varje prov och de lades i märkta plastpåsar och förvarades frysta fram till analysen. Det är viktigt att jordproverna är representativa för det som ska undersökas, i det här fallet den ursprungliga markytan. Urvalet baserades på att de var tagna i huset och inte i väggen och fördelat över hela ytan. Proven som valdes var 2, 4, 6, 9, 11, 14, 16, 18, 21, 23, 26, 28, 30, 33, 35, 38, 40, 42, 45, 47, 50, 52, 54, 57, 59, 62, 64, 66, 69, 71 och 76 (se figur 7).



Figur 7. Provtagningsplan i hus 4.

Preparering, extrahering och derivatisering

Proverna förbehandlades innan analysen. Jordproverna torkades i ugn i 80 grader, siktades med 0,5 mm maskvidd och 2 g vägdes in och lades i invägda provrör. De extraherades sedan med 2 ml diklormetan och 1 ml metanol som tillsattes till varje prov innan de placerades i en provrörsskak i 10 sekunder, ultraljudsbad i 30 minuter och centrifugering med 3000 rpm i 30 minuter. Preparatrör märktes upp och 1 ml fördes över till dem med pipett och avdunstades med kvävgas i dragskåp. Därefter tillsattes 100 mikroliter reagens (10% klorotrimetylsilan i bis-(trimetylsilyl)trifluoracetamid) till de torra proven efterföljt av 10 sekunder i provrörsskak och placering i 70° blocktermostat i 20 minuter för derivatisering. Överbliven reagens avlägsnades med kvävgas. Därefter tillsattes 100 mikroliter n-hexan och 10 sekunder i provrörsskak så att proverna löstes upp igen och fördes över med pipett till uppmärkta vialer som placerades i autoinjectorn till GC-MS:n (jämför Hjulström 2008).

Analys och bearbetning

Gaskromatografen var kopplad till en Agilent 5977B Masselektiv detektor via ett interface med temperaturen 350 °C. Fragmenteringen av separerade föreningar gjordes genom elektronisk jonisering (EI) vid 70 eV. Temperaturen i jonkällan var 230 °C. Massfiltret var satt att scanna i intervallet m/z 50-1050, vilket ger 1,5 scan/sec, och dess temperatur är 150 °C. Insamling och bearbetning av data gjordes med mjukvarorna Masshunter 10 och NIST Mass Spectral Search Program 2.3.

Allt glas som användes var tillbörligt diskat och endast lösningsmedel av renhetsgraden Pro analysi eller motsvarande användes. Kvantifieringen utfördes mot en extern kalibreringskurva ($r^2 = 0,942$).

Frågeställningarna kommer att kunna besvaras med det ovan angivna materialet och metoden då olika typer av fetter kommer att kunna urskiljas och olika växter kan komma att identifieras med hjälp av GC-MS. Det förväntade resultatet är bland annat rester av organiskt material från människor och djur (steroler, korta kolkedjor) och växter (stanoler, långa kolkedjor). Ämnen som kommer att undersökas med analysen är antalet kolatomer i fettsyornas kolkedjor (exempelvis indikerar bimodala kedjor att provet tillförts större mängder depåfetter), kvoten mellan stearinsyra/palmitinsyra (för att avgöra om depåfettet kommer från växter eller djur), kvoten mellan steroler från växter respektive djur (kvoten är 0 om inget kolesterol från djur påvisats), antalet kolatomer i alkanoler och i ω -hydroxyfettsyror, förekomst av långkedjiga ketoner (med antalet kolatomer C29-35) och ω -(*o*-alkylfenol)fettsyror från uppvärmningsprocesser, förekomst av 5 β -stanoler och koprostanol (indikerar fekalt material), förekomst av isoprenoida fettsyror (TMTD, pristansyra och fytansyra), förekomst av dehydroabietinsyra DHA (den dominerande diterpenen i harts från släktet Pinaceae) och metyldehydroabietat DHA Me (bildat genom att DHA reagerat med metanol, finns i låg halt i rök och sot och i högre halt i tjära) och förekomst av triterpener (betulin, α - och β -amyrin, ursolsyra, oleanolsyra, miliacin och friedelaner).

Problem och felkällor

Vid valet av undersökningsmetod och material är det viktigt att rätt företeelse mäts, det som ska undersökas, d.v.s. god validitet. Flertalet forskare har visat på att det går att identifiera lipider från jordprover med GC-MS för att tolka arkeologiska lämningar. Detta förutsatt att proverna togs och behandlades på rätt sätt. Både under provtagningen och analysen. Kvaliteten på rådata och hur den skapas kan leda till felaktiga slutsatser och icke-applicerbara resultat (Hjulström 2008:15). Därför är det viktigt att analysen utförs korrekt med korrekta instrumentinställningar d.v.s. med god reliabilitet.

Problem vid provtagningen är att inte alla mänskliga handlingar lämnar spår i det arkeologiska materialet. De handlingar som kan finnas kvar finns inte alltid bevarade och av de som finns där från början finns inte alla kvar. Av de handlingar som finns upptäcks inte alla av arkeologerna och av de som upptäcks kommer inte alla bli korrekt identifierade. Olika typer av fynd har olika fragmenteringsgrad, bevarandegrad och olika möjligheter att finnas med i urvalet. Det finns alltså en skillnad mellan urvalet, den undersökta populationen och den eftersträvade populationen (Orton 2000:41ff). Ett problem kan då vara överrepresentation (Brown & Brown 2010:145). Detta påverkar jordprovernas representativitet för den ursprungliga populationen.

Även om lipider överlever bättre än andra biologiska substanser bryts allt organiskt material ner så småningom genom oxidering, reduktion, hydrolys och transesterifiering och det är därför viktigt att tänka på faktorer som klimat, temperatur, syretillförsel, fuktighet, lerhalt, mikrobiell biomassa, växtlighet och pH-värde. Olika ämnen kan hittas i olika faser av nedbrytning, sammansättningar, koncentrationer och spridning i jordprover mellan olika miljöer (Hjulström 2008, Isaksson 2000). Allt organiskt material i arkeologiska kontexter har blivit nedbrutna, de flesta vid tidig diagenes (Hjulström 2008:23f). Det gäller att skilja på naturliga och antropogena (påverkade i någon grad av människor) depositioner (Hjulström 2008:16).

De låga halterna av organiska föreningar i jordproverna försvårar analysen och gör så att risken för kontamination är hög (Isaksson 2000, Brown & Brown 2010:145). En möjlig kontaminationskälla är fingeravtryck från utgrävare och laboratoriepersonal. Fingeravtrycken tillför moderna biologiska rester till proverna. Kolvätet skvalen finns i riklig mängd i lipider från människohud och är en god

indikation på modern kontaminering i provet (Evershed 1993:90). En annan indikator på mänsklig kontaminering är kolesterol som finns hos ytlipiderna i människohud vilket skapar problem då ämnet även överlever över lång tid och blandar sig med forntida signaler. Särskilt när det forntida signalerna är lägre och kraftigt nedbrutna (Evershed 1993:87ff, Isaksson 2000:40). Det kan även noteras att ömtåliga ämnen i stora mängder som inte troligen överlever sedan arkeologisk tid borde ses som moderna kontamineringar (Evershed 2008:899). För att undvika kontaminering bör proverna undvika hudkontakt vid hantering, rena redskap bör användas mellan varje prov och förvaring i en miljö där de inte kan adsorbera andra ämnen.

För att utesluta att ämnena i jordproverna kommer från den geokemiska bakgrunden kan prover från exempelvis referensjordar analyseras. Geokemisk bakgrund är sammansättningen av jord som inte har påverkats av mänskliga handlingar (Hjulström & Isaksson 2009:176). En sådan analys har dock inte gjorts i detta arbete. Enligt Hjulström och Isaksson (2009) är det dock mer relevant att bestämma hur prover från en antropogen horisont ska behandlas än att bestämma den geokemiska bakgrunden. Det är mer viktigt att studera relativa skillnader från samma horisont och jordtyp och relatera dessa till arkeologiska data. Det är även relevant att beakta skillnader inom olika områden istället för att fokusera på endast absoluta värden (Hjulström & Isaksson 2009:181).

Resultatet påverkas av skillnader i insamling, hypotes, de metodologiska parametrarna och av vegetationen och jorden. Därför kan tolkningarna endast baseras på de unika förutsättningarna för varje analys än att utgå från ett fast schema för tolkning (Hjulström 2008:14). Det gör så att det är svårt att få fram någon jämförbar kvantitativ data mellan olika områden och platser utan främst kvalitativ data för tolkning.

Resultat

Den största halten av fettsyror var C24 och C26. De flesta prov (förutom prov 33) hade en bimodal fördelning av fettsyrorna. Om kvoten mellan stearinsyra (C18:0) och palmitinsyra (C16:0) är >0,5 tyder det på att fettsyrorna domineras av terrestriska animalier. Flera av proverna överskrider gränsen eller ligger i närheten vilket antyder att det finns terrestriska animalier. Sterolkvoten är 0 då inget kolesterol hittades. Däremot hittades flera av fytosterolerna i provet. Av de tre isoprenoida fettsyrorna återfanns fytansyra från växtmaterial. Inga långkedjiga ketoner och ω -(o-alkylfenyl)fettsyror från uppvärmningsprocesser eller koprastanol och 5 β -stigmastanol från fekalt material kunde hittas. Däremot fanns 5 α -stigmastanol vilket är vanligt i växtmaterial. Den alkanol som dominerade var C26. Gräs och gräsrötter har dominans av C26 alkanoler (Mueller et al 2012:135). ω -hydroxyfettsyrorna domineras av C24 vilket främst kommer från rötter (Amelung 2008:160). Dehydroabietinsyra från harts av Pinaceae återfanns i några av proven. Ingen metyldehydroabietat hittades. Diterpenoider kommer från barrväxter och tripereneoider kommer från blommande växter (angiosperms) t.ex. oleanolsyra, ursanolsyra och friedelaner (Amelung 2008:165). Flera olika triterpener fanns i proverna. Det fanns flera spår av betulin och lupeol främst som betulinsyra och Lup-20(29)-en-28-al vilket har påvisats komma från björknäver. α -amyrin fanns i de flesta av proverna medan β -amyrin endast kunde påvisas i prov 16. Oleanolsyra och ursolsyra hittades i en stor mängd av proverna vilket kommer från frukter och bär. Oleanolsyra och ursolsyra förekommer även i sädeskorn.

Vid utgrävningen kunde inga rester av det infallna torvtaket hittas utan antogs ha blandats med andra lager (Papmehl-Dufay 2016, opublicerad rapport). Spåren av gräsrötter i proverna kan höra samman med det infallna torvtaket. Bland fyndmaterialet fanns människoben, djurben och brända ben vilket borde lämna efter sig spår efter animaliska fetter som kolesterol. I östra halvan av huset fanns ett lager med mörkt humöst material som var kraftigt fyndförande med obrända ben och en hundvalp liggande direkt ovanpå. I huset hittades skelett från minst fyra människor. Skeletten var redan borttagna vid själva provtagningen (Papmehl-Dufay 2020-02-27). En förklaring till att kolesterol saknas kan bero på den mikrobiella nedbrytningen på platsen (Stadtman et al 1953:511). Inga spår av att huset har brunnit påträffades. Tre härdar påträffades med kol och sot från bränt material vilka var kvar vid provtagningen. Spåren från björknäver och barrväxter kommer troligen från härdarna eller torvtaket. T.ex. var det inte ovanligt att lägga näver mellan läkten och torven för att täcka läkten som skydd. Då det inte fanns någon metyldehydrobietat så kommer materialet troligtvis inte från tjära hos barrväxterna utan från harts från veden eller rök och sot. Makrofossilanalysen visade spår av rottrådar, en levande fröbank och dagmaskkokonger. Bevarandegraden för äldre organiskt material var låg. Det förkollnade växtmaterialet antas höra samman med det arkeologisk lämningarna. Det makrofossila materialet visar på att man lagat mat i huset då brända och obrända benfragment från däggdjur/fågel, ben och fjäll från fisk, skalkorn, hasselnötsskal och en lök påträffades. Vid husets sydvästra gavel fanns ett område som tolkades som "skafferi" där en rak hartstätning F9057 påträffades. En möjlig förklaring till den stora mängden av triterpenoider av lupeol och betulin från björk, förutom att det kommer från att ha eldat, är att björkämnen kommer från konstruktioner av näver inne i huset. Oleanolsyra och ursolsyra från frukter och bär finns spridd i hela huset, även under fasta konstruktioner som bänkar, och kan komma från sentida växtlighet eller från något som vuxit på torvtaket som bärproducerade ljungväxter (blåbär, mjölon, lingon) eller kråkbärsväxter. Vissa ämnen kunde kopplas till olika delar av huset som t.ex. fytansyra vid ingången.

Tabell 2. Fettsyror anges med den lägsta fettsyran återfunnen i provet först och den högsta sist. Inom parentes anges den fettsyran som det fanns mest av. Om fördelningen var bimodal anges de båda fettsyrorna där den som det fanns mest av de båda är understruken. C18:0/C16:0 anger kvoten mellan C18:0 (stearinsyra) och C16:0 (palmitinsyra) och beräknades för de prov med en bimodal fördelning och kan indikera terrestriska animalier. Sterol-kvot anger kvoten mellan kolesterol och vegetabiliska steroler (kampesterol, stigmasterol och β -sitosterol) och anger bidraget från animaliska fetter. Alkanoler anges på samma sätt som fettsyror. ω OH-FA visar fördelningen av ω -hydroxyfettsyror som finns i provet. IPFS anger isoprenoida fettsyror (fyttansyra, pristinsyra eller TMD). C29-35 ketoner anger förekomsten av långkedjiga ketoner. ADFS redovisar förekomsten av ω -(o-alkylfenyl). Koprostanol indikerar fekal material. 5 β -stigmastanol indikerar fekal material från växtätare. 5 α -stigmastanol återfinns i de flesta växtmaterial. DHA betecknar dehydrobietinsyra vilket är den dominerande diterpenen i harts från Pinaceae. DHA Me är metyldehydrobietat vilket bildas vid reducerande bränning då DHA reagerar med metanol och förekommer i rök, sot och tjära. TT betecknar triterpenener: Be = Betulin, Be* = Betulinsyra, Lu = Lupeol, Lu* = Lup-20(29)-en-28-al,3(trimethylsilyl)oxy,(3B), α A = α -amyrin, β A = β -amyrin, Ol = oleanolsyra och Ur = ursolsyra. Om ämnet anges i parentes tyder det på att möjliga spår kan förekomma.

Prov	Halt mg/g	Fettsyror	C18:0/C16:0	Sterolkvot	Alkanoler	ω OH-FA	IPFS	C ₂₉₋₃₅ ketoner	AFFS	Koprostanol	5 β -stigma stanol	DHA	DHA Me	TT
2	1,66	12(16, <u>26</u>)34	0,55	0	18(26)34	20(24)28	-	-	-	-	5 α	-	-	Lu, Ol (Ur)
4	-	-	-	0	-	20(24)26	-	-	-	-	5 α	-	-	Be*
6	0,26	12(16, <u>24</u>)28	0,18	0	18(26)32	16(24)28	-	-	-	-	5 α	-	-	Be*, Ol (Ur)
9	0,82	12(16, <u>26</u>)32	0,22	0	18(26)32	20(24)28	-	-	-	-	5 α	-	-	Be*, α A, Ol, Ur
11	0,23	12(16, <u>24</u>)28	0,21	0	20(26)32	16(24)28	-	-	-	-	5 α	-	-	Be*, Lu, Or, Ur
14	0,29	12(16, <u>24</u>)30	0,21	0	20(26)32	20(24)28	-	-	-	-	5 α	-	-	Be*, α A, Ol (Ur)
16	0,42	12(16, <u>24</u>)28	0,14	0	18(26)32	20(24)28	-	-	-	-	5 α	DHA	-	Be*, β A, Ol (Ur)
18	0,22	12(16, <u>26</u>)30	0,19	0	18(26)32	20(24)28	-	-	-	-	5 α	-	-	Be*, Ol (Ur)
21	0,32	12(16, <u>24</u>)30	0,01	0	18(26)32	20(24)28	-	-	-	-	5 α	-	-	Be*, α A, Ol (Ur)
23	0,14	12(16, <u>24</u>)28	0,17	0	20(26)32	20(24)28	-	-	-	-	5 α	DHA	-	Ol, Ur
26	0,26	12(16, <u>24</u>)28	0,01	0	20(26)32	20(24)28	-	-	-	-	5 α	-	-	Be*, α A, Ol (Ur)
28	0,31	12(16, <u>24</u>)30	0,24	0	18(26)32	20(24)28	-	-	-	-	5 α	DHA	-	Be*
30	5,25	20(26)34	-	0	20(26)34	22(24)26	-	-	-	-	5 α	-	-	Ol (Ur)
33	6,49	(16, <u>24</u>)34	0,60	0	20(26)34	20(24)26	-	-	-	-	5 α	-	-	Be*, Lu*, α A, Ol, Ur
35	8,65	(16, <u>24</u>)34	0,59	0	20(26)34	20(24)28	-	-	-	-	5 α	-	-	Be*, Lu*, α A, Ol, Ur
38	6,85	(16, <u>24</u>)34	0,50	0	18(26)34	20(24)28	-	-	-	-	5 α	-	-	Be*, Ol, Ur
40	8,41	14(16, <u>26</u>)34	0,74	0	20(26)34	20(24)28	-	-	-	-	5 α	DHA	-	Lu*, α A, Ol (Ur)
42	7,48	14(16, <u>26</u>)34	0,55	0	18(26)34	20(24)28	-	-	-	-	5 α	-	-	Lu*, Ol, Ur
45	10,02	12(16, <u>24</u>)34	0,44	0	20(26)34	20(24)28	-	-	-	-	5 α	DHA	-	Be*, Lu*, α A, Ol, Ur
47	6,65	14(16, <u>26</u>)34	0,59	0	20(26)34	20(24)28	-	-	-	-	5 α	-	-	Be*, α A, Ol, Ur
50	5,32	12(16, <u>24</u>)34	0,53	0	16(26)34	20(24)28	-	-	-	-	5 α	-	-	Be*, Lu*, α A, Ol, Ur
52	14,18	12(16, <u>24</u>)34	0,60	0	20(26)34	20(24)28	-	-	-	-	5 α	-	-	Be*, Ol, Ur
54	9,63	12(16, <u>26</u>)34	0,56	0	20(26)34	20(24)28	-	-	-	-	5 α	-	-	Lu*

														Ol, Ur
57	10,90	12(16, <u>24</u>)34	0,57	0	20(26)34	20(24)28	-	-	-	-	5 α	-	-	Be*, Ol, Ur
59	4,10	12(16, <u>26</u>)36	0,46	0	18(26)34	20(24)28	-	-	-	-	5 α	-	-	Lu*, Ol, Ur
62	4,34	12(16, <u>24</u>)36	0,47	0	18(26)34	20(24)30	-	-	-	-	5 α	-	-	Be, Ol, Ur
64	10,10	12(16, <u>26</u>)36	0,56	0	20(26)34	20(24)28	Fyt.	-	-	-	5 α	-	-	Be*, Lu*, Ol (Ur)
66	0,94	(16, <u>24</u>)34	0,50	0	20(26)34	20(24)30	-	-	-	-	5 α	-	-	α A, Ol (Ur)
69	2,04	(16, <u>26</u>)34	0,55	0	20(26)34	20(24)30	-	-	-	-	5 α	-	-	Be*, Lu, Ol (Ur)
71	3,14	12(16, <u>24</u>)34	0,57	0	20(26)34	20(22)28	Fyt.	-	-	-	5 α	-	-	Ol, Ur
76	4,84	12(16, <u>24</u>)36	0,61	0	20(26)34	20(24)28	Fyt.	-	-	-	5 α	DHA	-	α A, Ol, Ur

Diskussion

Syftet med undersökningen var att ge ytterligare information om hus 4 och platsen Sandby borg. Utifrån detta formulerades flera frågeställningar och hypoteser.

Den första frågeställningen var vilka typer av organiska lämningar kopplade till mänskliga aktiviteter som kan identifieras med lipidanalysen. Som redan nämnts går det att spåra flertalet aktiviteter med lipidanalys som matlagning genom uppvärmningsprocesser, stallning genom fekalt material och förvaring av olika organiska materia som avsätts i marken från växter och djur. I huset hittades inga spår efter uppvärmningsprocesser eller fekalt material men spår av växtfetter varav inga som kunde kopplas ihop med terrestriska eller marina animalier trots att den biomodala fördelningen av fettsyror indikerar detta. De olika växtfetterna skiljde sig dock mellan den främre och bakre delen av huset med längre distributioner av fettsyror i den främre delen av huset och något kortare i bakre delen av huset vilket kan tyda på olika typer av aktiviteter. Fettsyror med 24 kolatomer fanns i större delen av huset medan fettsyror med 26 kolatomer fanns mer i den östra delen av huset. Förhöjda värden av dehydroabietinsyra (DHA) från tjära från barrväxter fanns i mitten av huset och kommer troligen från härdarna. Ursolsyra och oleanolsyra från växter med frukt eller bär fanns över hela markytan. Fytan från växtkolorfyll hittades vid ingången till huset. Lupeol och betulin (samt deras nedbrytningsprodukter) från björknäver fanns även i hela huset. Fördelningen av alkanoler och ω -hydroxyfettsyror skiljde sig inte nämnvärt över området där alkanoler med 26 kolatomer och ω -hydroxyfettsyror med 24 kolatomer dominerade. Möjligtvis så var alkanolerna något längre i bakre delen av huset och kortare i främre. De olika halterna av extraktivämnen från de olika proven kan tyda på ansamlingar av organiskt material på vissa platser i huset (se bilaga). Då flera mänskliga handlingar kan leda till liknande spår i marken är det svårt att kunna koppla dem till en specifik aktivitet.

Den andra frågeställningen var om lipidanalysen implicerar en annan indelning eller användning av hus 4 än tidigare elementanalys, anläggningar och fynd.

I den tidigare elementanalysen fanns förhöjda värden av fosfor i bakre delen och längsmed mittaxeln i huset vilket tyder på att de är de mest använda delarna. Kalium och mangan från träaska fanns främst i den bakre delen av huset och kalcium från bl.a. ben fanns vid ingången och i västra hörnet längst bak. Järn fanns i bakre delen och precis vid ingången, koppar fanns i bakre delen och i

mitten/ingången i främre delen, zink fanns i mitten längst bak vilka är ämnen som kopplas till metallhantverk. Svavel fanns i mitten i främre delen. Den största faktorn (som står för störst del av variationen) som bestod av fosfor, svavel, koppar och zink fanns vid mitten och i bakre delen av huset. Med främre delen menas den del av huset som var riktat inåt mot gatan utanför med ingången och den bakre delen menas den delen som är riktat utåt mot borgmuren. Denna tydliga indelning i en bakre del och förhöjda värden längsmed mittaxeln kan urskiljas i lipidanalysen även om resultatet var relativt homogent över hela ytan. T.ex. så fanns förhöjda värden av dehydroabietinsyra (DHA) från harts av barrväxter längsmed mitten av huset och kortare fördelningar av fettsyror i bakre delen av huset.

Vid utgrävningen av huset upptäcktes tre härdar längsmed mitten av huset, rester av mat (bl.a. skalkorn, djurben och en förkolnad lök), rester av möjliga bänkar på sidorna om ingången, två stolphål och flera mindre, hartstätningar från ett möjligt förråd och skelett från fyra individer samt ett något humösare lager längst in i huset. I huset fanns även fynd av glassmältor vilket har lett till tolkningen av huset som ett hantverkshus. För att förenkla jämförelsen mellan lipidanalysen, anläggningarna och fynden formulerades frågor/hypoteser.

Den första frågan var om prov från/i närheten av härdarna skiljer sig åt/syns i lipidanalysen. Inga spår av uppvärmningsprocesser kunde ses i proverna (långkedjiga ketoner) men spåren av dehydroabietinsyra (DHA) från barrträd och derivat från lupeol och betulin från björknäver kan bero på att de har eldat med ved från dessa träslag. Den andra frågan var om stolphålen är synliga i lipidanalysen. Stolphålen var inte möjliga att detektera med lipidanalysen framförallt då proverna togs i ett så stort område att de antagligen inte täcktes in urvalet. En tredje fråga var om hartsättningarna som hittades i huset kunde kopplas samman med förvaring av mat. Det sydvästra hörnet (där hartsättningen fanns) utmärkte sig inte nämnbart från de övriga delarna av huset. Fynden av skelett inne i huset föranledde frågan om biomarkörer från skelettfynden kan identifieras. Då inga spår av biomarkörer för animaliska fetter (kolesterol) kunde fastställas i proverna var de mänskliga kvarlevorna inte synliga i lipidanalysen. Den biomodala fördelningen hos de flesta fettsyrorna däremot tyder på att det kan finnas spår av animaliska fetter i proverna. En möjlig förklaring till detta är att skeletten redan var bortgrävda vid provtagningen eller på grund av den mikrobiella nedbrytningen som kan ha brutit ner bl.a. kolesterol till mindre delar. Det mörka humösa lagret i öst (L9110) leder till frågan om området syns i lipidanalysen. Inga direkta skillnader mellan öst och väst kunde urskiljas vid lipidanalysen. Möjligtvis fanns fettsyror med 26 kolatomer mer i riktning mot den östra halvan av huset. Kan då biomarkörerna bekräfta fynden och anläggningarna i huset? Biomarkörerna kunde inte bekräfta de andra fyndens närvaro men möjliga spår av t.ex. härdarna kunde fastställas. För att dessa anläggningar ska kunna identifieras med lipidanalys och underlätta tolkningen måste mer lokala prover från de specifika anläggningarna tas.

Vid utgrävningen hittades inga spår av det troligen infallna torvtaket som kan ha blandat sig med underliggande lager. En fråga är om spår av torvtaket syns i lipidanalysen? I huset hittades en stor mängd lipider som kan kopplas ihop med gräs och växter och tyder på att det kan finnas spår av torvtaket inne i huset som blandats med resten av lagren. Biomarkörerna lupeol och betulin derivat kan bero på att man isolerat taket/väggarna med björknäver. Fördelningen av oleanol- och ursolsyra över hela huset kan komma från ett tak med blåbärs-, lingon- eller kråkbärsris. Den någorlunda jämna fördelningen av ω -hydroxyfettsyror kan komma från sentida rötter eller torvtak.

Den tredje frågeställningen var om spåren i huset skiljer sig från hus/byggnader som tolkats som bostadshus då huset har tolkats som ett specialiserat hantverkshus. De flesta huslämningarna på

Öland från folkvandringstiden är den vanliga skandinaviska treskeppiga hustypen med inre takbärande stolpar innanför husväggarna. En skillnad är dock att de anlade kallmurade skalmursväggar utanför en inre träkonstruktion. I södra och mellersta Öland dominerar kalksten vilka har fyllts på med mindre stenar. Husen varierar i utseende, alltifrån långa raka hus och små ovala, rektangulära eller kvadratiska hus. De varierar i längd mellan 8-55m och 6-10m i bredd utanför och 4-9m i bredd inuti med en höjd på 1,5m. Det fanns en eller två ingångar i gaveln eller längsmed långsidan. Ett stort antal av husen var sammanbyggda. Endast ett fåtal av de öländska husgrunderna har blivit undersökta. De flesta undersökta husen är daterade till yngre romersk järnålder, folkvandringstid och vendeltid. Det yngsta är daterat till 700-talet (Fallgren 2006:25f). Fynd av sädeskorn, härdar och matrester tyder på att huset används som bostad medan ängsväxter tyder på fähus/stall. Större spannlängd mellan stolphålen i bostadsdelen och kortare i fädel/förråd. För att hindra att stockarna ruttnar kan de ha bränt/tjärat stolparna eller lagt huset på trä/stensyll som isolerats med näver mot vätan (Göthberg 2000). Det var vanligt att de treskeppiga husen delades in i tre sektioner t.ex. ena gaveln användes som förråd och mittdelen som bostad (Göthberg 2000). En teori till takläggningen, förutom vass, halm, torv o.s.v. är näver. De kan även ha varit olika takläggning i olika delar av huset. För att isolera huset kan de ha haft innerväggar av trä eller isolerat med torv.

Huset var 14 m och hade välbevarade väggar i kalksten. De övre lagren kan vara en sammanblandning med de naturliga lagren och rasmassor. Lager 8206 bestod av massor från ett infallet torvtak, humös sand och stora mängder kalksten. Lager 8240 var ett lager med infallet torvtak blandat med fynd. Det hade varit bra att kunna ta prover från de här lagren för att kunna bestämma rasmassornas innehåll av organiska material. Lager 8645 var ett humöst kulturlager med ben, keramik, glas och metallföremål där proven togs ifrån. Lager 9119 bestod av ett mörkt humöst material i östra halvan. I huset fanns tre härdar. A9108 var en kol/sotfläck, A9183 en härd med fiskben, sot och kol. A8998 var en härd med sot/kol och ben. A8679 en härd med kol, ben och obränt trä. Sju stolphål hittades. A9140 och A9107 var stenskodda stolphål vid mittaxeln längst bak. A9129, A9130, A9116, A9118 var små stolphål längsmed västra långväggen. A9137 var ett möjligt stolphål. I den västra delen av huset fanns ett packat gruslager och i östra delen fanns ett mörkt och fett lager. 14 fynd av harts/hartstätningar gjordes i huset. Vid stenkonstruktionen A9000 fanns en rak hartstätning tillsammans med glas och hartsbitar som tolkats som skafferier. Makrofossilanalys visade på rottrådar, en levande fröbank och daggmaskkokonger som tyder på en aktiv biologisk horisont. Det var en låg bevarandegrad för organiskt material. Odling hade skett i borgen under 1800-talet men en skarp kontrast mellan övre lagret och kulturlagret tyder inte på odling. Spåren tydde på en bred matlagning. Bl.a. hittades skalkorn och en lök (allium) som kan tyda på planteringar.

Huset skiljer sig mot andra folkvandringstida byggnader på så sätt att det inte är treskeppigt utan verkar vara en egen variant. Kanske med tätare mindre stolpar i främre delen av huset och två större i bakre delen av huset. Huset är byggt med kallmurad kalkstens skalvägg typiskt för den centrala och södra delen av Öland. Huset ligger radiellt längsmed och inbyggt i muren vilket var en vanlig placering inuti ringborgar, jämför Eketorp och Ismantorps borg. Taket har bestått av något organiskt material vilket var vanligt för tiden som försvunnit över tid och absorberats in i rasmassorna. Taket kan t.ex. varit gjort av torv med näver under. Även väggarna kan ha varit isolerade med torv eller liknande. Tolkningen av att det varit ett hantverkshus varken motsägs eller förstärks av lipidanalysen. Däremot är det inte troligt att byggnaden använts för stall då inga spår av fekal material påträffades. Inga spår av köttantering har kunnat kopplas till huset från förvaring. Huset kan ju fungerat som ett förråd i

främre delen av huset och en hantverksdel i bakre vilket delvis bekräftas av fynden på platsen då husen kunde ha flera olika funktioner samtidigt.

Den sista frågeställningen var om tolkningen av huset passar in i nuvarande forskningsfält om ringborgar och husens uppbyggnad under folkvandringstiden. Konstruktionen av huset passar väl in med andra byggnader från folkvandringstiden på Öland då sten var ett vanligt byggmaterial. Husets användning och uppbyggnad tyder inte på att ringborgarna använts för försvar eller i militära syften utan som ett hantverkshus och en möjlig plats för handel och sammankomster. De verkar ha levt ett rikt liv vilket syns på alla smyckesdepåer och den festmåltid som var uppdukad vid "massakern". Detta välstånd kan ha lett till andras intresse. Att de inte kunnat gå tillbaka till platsen senare tyder på att "massakern" måste skett i hast innan de lämnade platsen för att aldrig komma tillbaka vilket kan liknas vid en föregångare till "vikingatida" plundringståg. Lipidanalyserna däremot kan inte utröna plötsliga händelser utan vad som har ackumulerats på en plats över tid vid långvarig användning och endast ett fåtal företeelser bevaras i jorden över lång tid. Därför gäller det att hitta dessa biomarkörer som har ett tydligt ursprung och som bevaras över lång tid i marken.

Slutsats

Slutsatsen av undersökningen är att det går att identifiera spår av olika organiska ämnen som varit närvarande i hus 4 i Sandby borg med lipidanalyser av jordprover. Ämnena dominerades av växtmaterial med långa fettsyror och alkanoler som kan ha kommit från ett infallet torvtak eller genom naturliga sentida markprocesser. Betulin och lupeol från till exempel björknäver identifierades över hela markytan och kan bero på att taket var isolerat med näver vilket är en vanlig konstruktion för torvtak. I enlighet med härdarna som låg längsmed mitten av huset fanns spår av dehydroabietinsyra (DHA) från harts, sot eller rök från barrväxter vilka kan ha sitt ursprung därifrån eller från det infallna taket. Över hela ytan fanns även spår av oleanol- och ursolsyra från bl.a. växter med frukt och bär vilka kan bero på att blåbär- eller lingonris har växt på taket. Trots den biomodala fördelningen och den höga kvoten av stearinsyra (C18:0) och palmitinsyra (C16:0) som indikerar animalt ursprung hos fettsyror hittades inga spår av animaliska fetter som t.ex. kolesterol. Halten av organiska ämnen i proven samt fördelningen av bredare och smalare distributioner av fettsyror i främre respektive bakre delen av huset visar på olika indelningar som liknar den vid den tidigare elementanalysen. Proven kunde inte kopplas ihop med övriga anläggningar och fynd i huset.

Vilket nytt tillför då lipidanalysen till tolkningen av huset? Lipidanalysen ger en bild av det organiska materialet på platsen som inte kommer fram vid utgrävning, makrofossil, elementanalys och kompletterar på så sätt undersökningen och tolkningen av hus 4. Analysen bidrar även givetvis till att göra tolkningen av huset övertygande med flera metoder som understryker samma typer av aktiviteter som redan har upptäckts.

Fortsatt forskning

Den här undersökningen görs under pågående forskning om Sandby borg och folkvandringstida ringfort och under utbredningen och utvecklingen av geokemiska lipidanalyser på jord. Metoden håller fortfarande på att utvecklas och den här studien bidrar förhoppningsvis till progressionen och framtida forskning med hjälp av lipidanalyser på jordprov. Det praktiska målet med undersökningen är att analystekniken ska användas mer i framtiden. Undersökningen var begränsad till hus 4 så

fortsatt forskning i både Sandby borg, andra ringfort och folkvandringstida hus behövs i framtiden för att få en bättre förståelse av platsen och tiden.

Sammanfattning

Sandby borg är en öländsk ringborg från äldre järnåldern. Borgen har undersökts arkeologiskt sedan 2010-talet. Bland annat har tre av huslämningarna grävts ut och jordprover togs över hela golvytan hos hus 4. Tidigare har jordproverna från hus 4 analyserats för att hitta spår av oorganiskt material som visar på vilka aktiviteter människor ägnat sig åt på platsen. I det här arbetet har motsvarande analys utförts vad avser spår av organiskt material. Lämningsarna efter växter och djur bryts ned till olika kemiska föreningar och försvinner efter hand. Vissa av föreningarna är dock mer stabila och bevaras bättre i jorden än andra. Detta gäller sådana som kommer från fetter och vaxer, så kallade lipider. I forskningen har en del lipider identifierats som är utmärkande för nedbrytningen av olika vegetabilier och animalier, så kallade biomarkörer. Om de finns ansamlade i jord på en yta där mänsklig aktivitet ägt rum kan de antas komma från dessa och tillsammans med arkeologiska fynd indikera vilken verksamhet det varit fråga om. I detta arbete har 31 jordprover analyserats. I analysen framkom det att huvuddelen av ämnena kom från växter som domineras av långkedjiga lipider. En del av dem bör ha tillkommit genom markprocesser efter att byggnaden övergetts. Proverna innehöll inga biomarkörer från terrestriskt eller akvatiskt ursprung. I en del av proverna fanns spår av harts, rök eller sot från barrväxter, främst i mitten av huset. Över hela ytan fanns spår av derivat av lupeol och betulin från exempelvis björknäver. Flertalet av proverna innehöll spår av triterpener (ursolsyra och oleanolsyra) som finns i många kärl- blomväxter, men är påtagliga i växtlager kring bland annat frukt och bär. Växtmaterialet kan komma från ett infallet torvtak som har isolerats med björknäver. Spåren av harts, rök och sot från barrväxter kan möjligtvis kopplas till eldstäderna som fanns i mitten av huset. Oleanolsyra och ursolsyra kan härstamma från blåbärs- eller lingonris som vuxit på taket.

Referenser

- Alfisdotter, C. (2019) Social implications of unburied corpses from intergroup conflicts: postmortem agency following the Sandby borg massacre. *Cambridge Archaeological Journal*, 29(3): 427-442
- Alfisdotter, C., & Kjellström, A. (2019). The Sandby Borg Massacre : Interpersonal Violence and the Demography of the Dead. *European Journal of Archaeology*, 22(2), 210–231.
- Alfisdotter, C., Pappmehl-Dufay, L., & Victor, H. (2018). A moment frozen in time : evidence of a late fifth-century massacre at Sandby borg. *Antiquity*, 92(362), 421–436.
- Almgren, O. 1904. *Sveriges fasta fornlämningar från hednatiden*. Stockholm.
- Ambrosiani, B. 1964. *Fornlämningar och bebyggelse. Studier i Attunda-lands och Södertörns förhistoria*. Uppsala.
- Amelung, W, Brodowski, S. Sandhage-Hofman, A., & Bol, R. 2008. Combining biomarker with stable isotope analyses for assessing the transformation and turnover of soil organic matter. I: Sparks, D. (red.) *Advances in Agronomy* 100: 155-250.
- Andrén, A. 2014. *Tracing Old Norse Cosmology*, Riksantikvarieämbetet. Lund.
- Andrén, A., Viberg, A., Lidén, K., Victor, H., & Fischer, S. (2014). The ringfort by the sea : Archaeological geophysical prospection and excavations at Sandby borg (Öland). *Archäologisches Korrespondenzblatt*, 44(3), 413–428.
- Arrhenius, O. 1935. Markundersökningar och arkeologi. *Fornvännen* 30:65-76.
- Artman, N. R., & Alexander, J. C. 1967. Characterization of Some Heated Fat Components. *Journal of American Oil Chemists' Society* 45. Champaign.
- Bonzanini, F., Bruni, R., Palla, G., Serlataite, N. & Caligiani, A. 2009. Identification and distribution of lignans in *Punica granatum* L. fruit endocarp, pulp, seeds, wood knots and commercial juices by GC–MS. *Food Chemistry* 117.
- Bossard, N., Jacob, J., Le Milbeau, C., Sauze, J., Terwilliger, V., Poissonnier, B., & Vergès, E. 2013. Distribution of miliacin (olean-18-en-3 β -ol methyl ether) and related compounds in broomcorn millet (*Panicum miliaceum*) and other reputed sources: Implications for the use of sedimentary miliacin as a tracer of millet. *Organic Geochemistry* 63.
- Brothwell, D. R. & Pollard, A.M. 2005. *Handbook of archaeological sciences*. Wiley, Chichester.
- Brown, T & Brown K. 2010. *Biomolecular Archaeology. An Introduction*.
- Burnouf-Radosevich, M., Delfel, N. E. & England, R. 1985. Gas Chromatography-Mass Spectrometry of Oleanane- and Ursane-type triterpenes – Application to *Chenopodium Quinoa* triterpenes. *Phytochemistry* 24 (9).
- Calleberg, K. (2019). *The Victims at Sandby Borg : Tracing mobility and diet using strontium analyses*. Arkeologiska forskningslaboratoriet. Stockholm. Masteruppsats.

- Cargnin, S. T. & Gnoatto, S. B. 2017. Ursolic acid from apple pomace and traditional plants: A valuable triterpenoid with functional properties. *Food Chemistry* 220.
- Christie, W. W. 1981. *Lipid Metabolism in Ruminant Animals*. Pergamon Press. Oxford.
- Diefendorf, A. F., Freeman, K. H., Wing, S. L. & Graham, H. V. 2011. Production of n-alkyl lipids in living plants and implications of the geological past. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 75.
- Eklund, M. (2019). *Changing Agriculture : Stable isotope analysis of charred cereals from Iron Age Öland*. Arkeologiska forskningslaboratoriet. Stockholm. Masteruppsats.
- Eriksson, G., Calleberg, K., Eklund, M., Lidén, J. *Sandby borg isotopes and radiocarbon dating*. Pågående.
- Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I. & Simonsson, M. 2011. *Marklära*. Studentlitteratur.
- Evershed, R. P. 1993. Biomolecular Archaeology and Lipids. *World Archaeology*, vol 25: 74-93.
- Evershed, R. P., Stott, A. W., Raven, A., Dudd, A. N., Charters, S. & Leyden, A. 1995. Formation of Loch-Chain Ketones in Ancient Pottery Vessels By Pyrolysis of Acyl Lipids. *Tetrahedron Letters* 36. Oxford.
- Evershed, R. P. 2008. Organic Residue Analysis in Archaeology: The Archaeological Biomarker Revolution. *Archaeometry*, 50, 6(2008) 895-924. Bristol.
- Fabech, C. och Ringtved, J. 1995. *Magtens geografi i Sydskandinavien – om kulturlandskab. Produksjon og bebyggelsemønster. I Produksjon og samfund Varia* 30.
- Fallgren, J-H. 2006. *Kontinuitet och förändring Bebyggelse och samhälle på Öland 200-1300 e Kr*. Aun 35. Uppsala.
- Grabowski, R. 2014. Cereal husbandry and settlement: Expanding archaeobotanical perspectives on the southern Scandinavian Iron Age. *Archaeology and Environment* 28. Umeå Universitet. Umeå.
- Gunnarsson F., Victor H., Alfsdotter C. 2016. *Sandby borg VII*. Kalmar läns museum.
- Gustavsson, P. 2014. *Sandby borg : En komparativ studie av Ölands folkvandringstida befästningsanläggningar*. Linnéuniversitet. Kalmar/Växjö. Masteruppsats.
- Göthberg, H. 2000. *Bebyggelse i förändring: Uppland från slutet av yngre bronsålder till tidig medeltid*. Uppsala.
- Hansel, F. A., Copley, M. S., Madureira, L. A. S. & Evershed, R. P. 2004. Thermally produced β -(o-alkylphenyl)alkanoic acids provide evidence for the processing of marine products in archaeological pottery vessels. *Tetrahedron Letters* 45. Oxford.
- Hedberg, E. 2017. *Ett hus i Sandby borg. Elementanalys av jordprover från hus 4*. Arkeologiska forskningslaboratoriet. Stockholm. Kandidatuppsats.
- Hernández Vázquez, L., Palazon, J. & Navarro-Ocaña, A. 2012. The Pentacyclic Triterpenes β , β -amyrins: A Review of Sources and Biological Activities. Chapter 23. I: Rao, V. (red.) *Phytochemicals - A Global Perspective of Their Role in Nutrition and Health*.

Heron, C., Nilsen, G., Stern, B., Craig, O. & Nordby, C. 2010. Application of lipid biomarker analysis to evaluate the function of 'slab-lined pits' in Arctic Norway. *Journal of Archaeological Science* 37.

Hjulström, B. & Isaksson, S. 2009. Identification of activity area signatures in a reconstructed Iron Age house by combining element and lipid analyses of sediments. *Journal of Archaeological Science* 36(2009): 174-183.

Hjulström, B. 2008. *Patterns in Diversity. Geochemical analyses and settlement changes during the Iron Age – Early Medieval time in the Laka Mälaren region, Sweden*. Theses and Papers in Scientific Archaeology 11. Doctoral thesis, Archaeological research laboratory, Stockholm.

Holmring, Jacob, 2014, *Rethinking the Iron Age ringforts of Öland – Interpretations and new possibilities*, Stockholm.

Isaksson, S. 1998. *A kitchen entrance to the aristocracy – analysis of lipid biomarkers in cultural layers*. *Laborativ Arkeologi* 10-11: 43-53.

Isaksson, S. 2000. *Food and Rank in Early Medieval Time*. Theses and Papers in Scientific Archaeology 3. Arkeologiska forskningslaboratoriet, Stockholms universitet.

Karlsson, M. (2017). *Sveriges första glasverkstad? : En undersökning av glasfynd från Sandby borg och andra tidiga glashantverksplatser i Sverige*. Linnéuniversitetet. Kalmar/Vaxjö. Masteruppsats.

Kumarathasan, R., Rajkumar, A. B., Hunter, N. R. & Gesser, H. D. 1992. Autoxidation and Yellowing of Methyl Linolenate. *Progress in Lipid Research* 31. Oxford.

Kögel-Knaber, I. 2002. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as input to soil organic matter. *Soil Biology & Biochemistry* 34:139-162.

Lucquin, A., Colonese, A. C., Farrell, T. F. G. & Craig, O. E. 2016. Utilising phytanic acid diastereomers for the characterization of archaeological lipid residues in pottery samples. *Tetrahedron Letters* 57.

Moldoveanu, S. 2014. The Utilization of Gas Chromatography/Mass Spectrometry in the Profiling of Several Antioxidants in Botanicals. I Guo, X. (red.) *Advances in Gas Chromatography*. InTech, DOI: 10.5772/57292.

Mueller, K.E., Polisar, P.J., Oleksyn, J. och Freeman, K.H. 2012. Differentiation temperate tree species and their organs using lipid biomarkers in leaves, roots and soil. *Organic Geochemistry* 52 (2012). 130-141.

Näsman, U. 1984. *Glas och handel i senromersk tid och folkvandringstid: en studie kring glas från Eketorp-II, Öland, Sverige (Aun 5)*. Uppsala: Department of Archaeology and Ancient History, Uppsala University.

Näsman, U. 1991. Nogle bemærkninger om det nordiske symposium "Samfundsorganisation og regional variation" på Sandbjerg Slot. I: C. Fabech & J. Ringtved (red.) *Samfundsfundsorganisation og regional variation*. Højbjerg/Århus : 321-328.

Olausson, M. 1995. *Det inneslutna rummet: om kultiska hägnader, fornborgar och befästa gårdar i Uppland från 1300 f Kr till Kristi födelse*. Diss. Stockholm.

- Orton, C. 2000. Sampling in Archaeology. *Cambridge Manuals in Archaeology*. Cambridge.
- Papmehl-Dufay, L., Alfsdotter, C. 2014. *Sandby borg V. Seminariegrävning 2014*. Sandby socken, Mörbylånga kommun, Öland (Sandby borgs skrifter 5). Kalmar: Kalmar läns museum.
- Papmehl-Dufay, L. 2016. Opublicerad rapport.
- Pedersen, E.A., Widgren, M. 1998. Del 2: Järnålder 500 f.Kr.-1000 e.Kr. I: Welinder, S., Pedersen, E.A. & Widgren, M. (red). *Det svenska jordbrukets historia. 4000 f.Kr. – 1000 e.Kr. Bd 1. Jordbrukets första femtusen år*. Stockholm.
- Peters, K. E., Walters, C. C & Moldowan, J. M. 2005. *The Biomarker Guide. Volume 1. Biomarkers and Isotopes in the Environment and Human History*. Cambridge University Press.
- Rhezelius, J. H. 1634. *Monumenta runiva in Ölandia comitatu Regni Sveciæ Gothiæquæ*. MS I Kungliga biblioteket, Stockholm.
- Rogge, W. F., Medeiros, P. M. & Simoneit, B. R. T. 2006. Organic marker compounds for surface soil and fugitive dust from open lot dairies and cattle feedlots. *Atmospheric Environment* 40.
- Rogge, W. F., Medeiros, P. M. & Simoneit, B. R. T. 2007. Organic marker compounds in surface soils of crop fields from the San Joaquin Valley fugitive dust characterization study. *Atmospheric Environment* 41.
- Rontani, J.-F., Galeron, M.-A., Amiraux, R., Artigue, L. & Belt, S. T. 2017. Identification of di- and triterpenoid lipid tracers confirms the significant role of autoxidation in the degradation of terrestrial vascular plant material in the Canadian Arctic. *Organic Geochemistry* 108.
- Saiz-Jimenez, C., Hermosin, B., Guggenberger, G., & Zech, W. 1996. Land use effects on the composition of organic matter in soil particle size separates. III. Analytical pyrolysis. *European Journal of Soil Science* 41: 61-69.
- Schröder, M. & Vetter, W. 2011. GC/EI-MS Determination of the Diastereomer Distribution of Phytanic Acid in Food Samples. *Journal of American Oil Chemistry Society* 88.
- Shan, W.-G., Zhang, L.-W., Xiang, J.-G. & Zhan, Z.-J. 2013. Natural friedelanes. *Chemistry & Biodiversity* 10: 1392-1434.
- SGU: Sveriges geologiska undersökning.
- Simoneit, B. R. T., Rogge, W. F., Lang, Q. & Jaffé, R. 2000. Molecular characterisation of smoke from campfire burning of pine wood (*Pinus elliottii*). *Chemosphere: Global Change Science* 2.
- Sjöborg, N. H. 1822. *Samlingar för Nordens fornälskare*. Stockholm. Ett kommenterat urval med inledning av Maj Odelberg utkom 1978, Stockholm: Rediviva.
- Stadtman, T.C., Cherkes, A. & Anfinsen C.B. 1953. *Studies on the microbiological degradation of cholesterol*. Laboratory of Cellular Physiology, National Heart Institute, National Institutes of Health, Bethesda, Maryland.
- Stenberger, M. 1933. *Öland under äldre järnålder*. KVHAA Monografier. Stockholm.

Stenberger, M. 1964. *Det forntida Sverige*. Uppsala.

Tegnér, G. (red.) 2008. *Gråborg på Öland: om en borg, ett kapell och en by*. Kungl. Vitterhets historie och antikvitets akademien, Stockholm.

Thornton, M. D., Morgan, E. D & Celoria, F. 1970. The composition of bog butter. *Science and Archaeology* 2/3:20-25

Wegraeus E. 1974. The Öland Ring-forts. I: Borg K., Näsman U., Wegraeus E. (red.). *Eketorp – Fortification and Settlement on Öland/Sweden. The Monument*. Stockholm.

Willför, S.M. Smed, A. I. & Holmbom, B. R. 2006. Chromatographic analysis of lignans. *Journal of Chromatography A* 1112.

Elektroniska referenser:

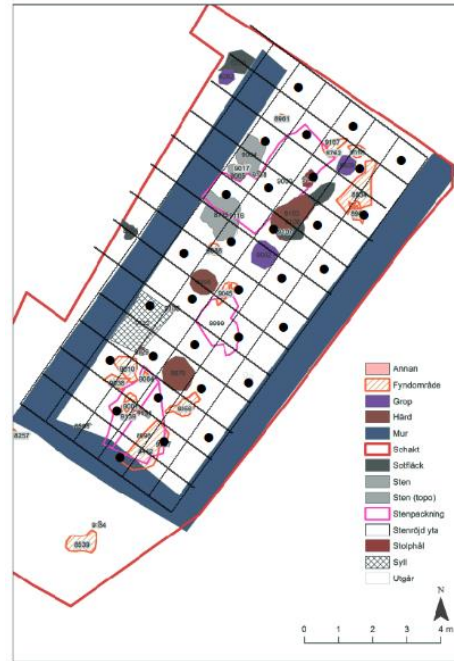
Victor, H., 2016, Sandy borg. URL: https://www.sandbyborg.se/om_oss/

Mejlkontakt:

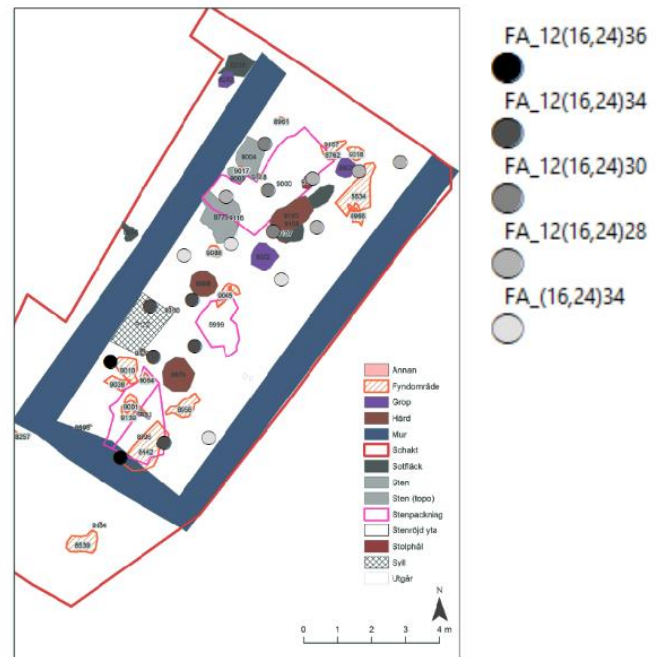
Papmhel-Dufay, L. 2020-02-27.

Bilagor

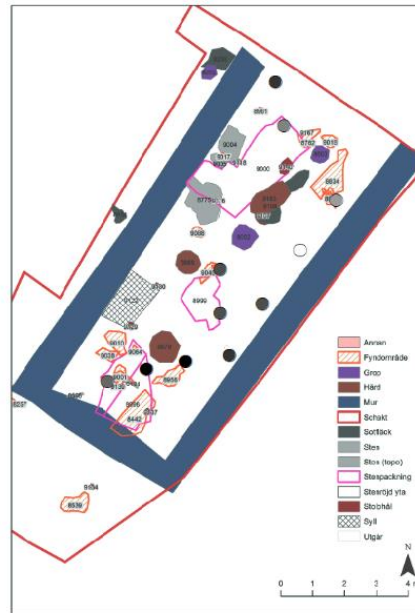
Provtagningsplan



Fettsyror med C_{max} 24

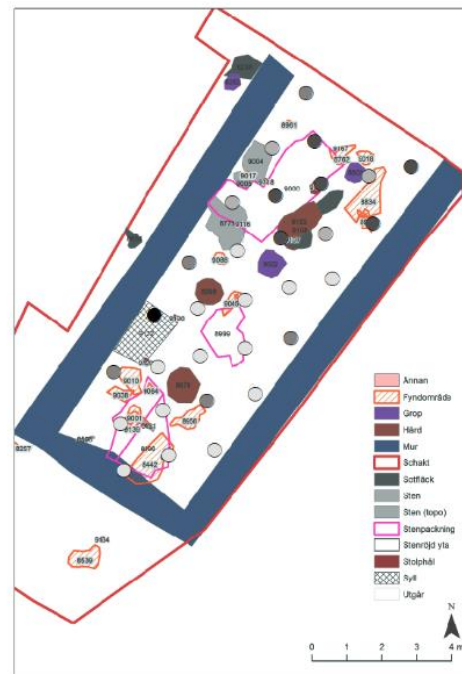


Fettsyror med C_{max} 26



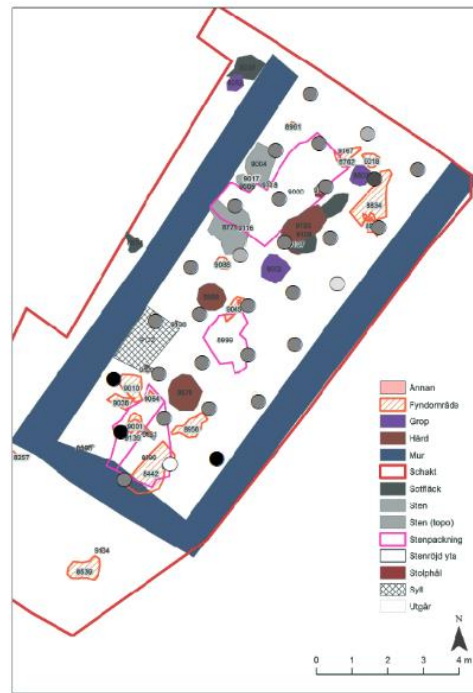
- FA_20(26)34
- FA_14(16,26)34
- FA_12(16,26)36
- FA_12(16,26)34
- FA_12(16,26)32
- FA_12(16,26)30
- FA_(16,26)34

Alkanoler



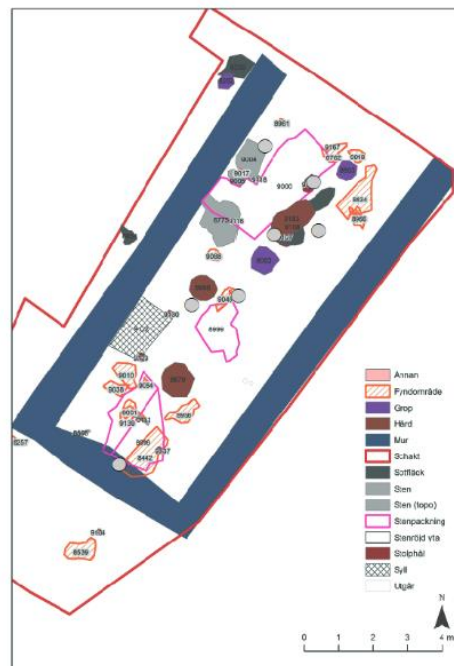
- Alk_20(26)34
- Alk_20(26)32
- Alk_18(26)34
- Alk_18(26)32
- Alk_16(26)34

ω -hydroxyfettsyror



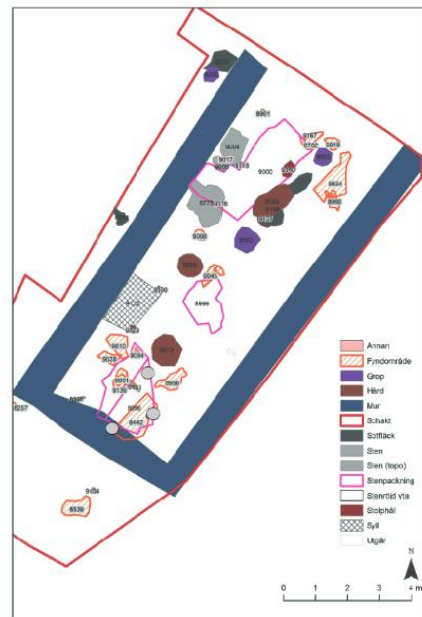
- woh_22(24)26
- woh_20(24)30
- woh_20(24)28
- woh_20(24)26
- woh_20(22)28
- woh_16(24)28

Dehydroabietinsyra (DHA)



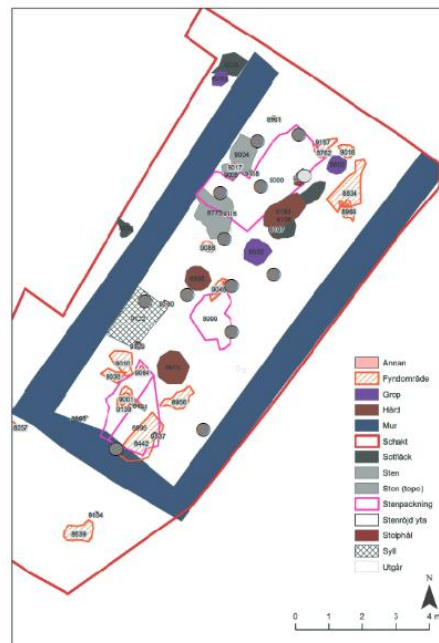
- DHA

Fytansyra



fytan

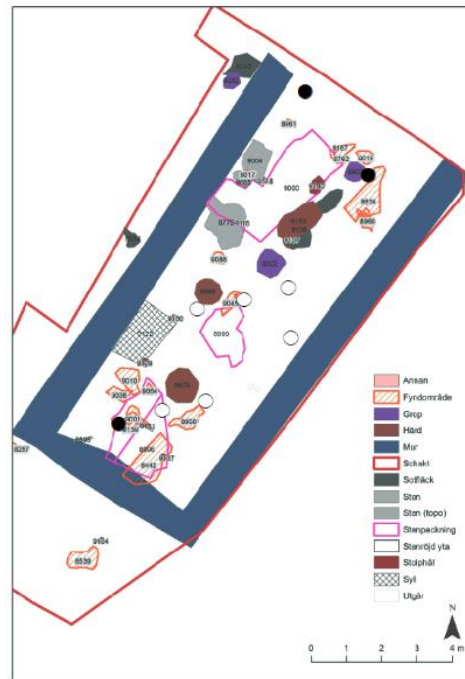
Amyrin



amyrin_b

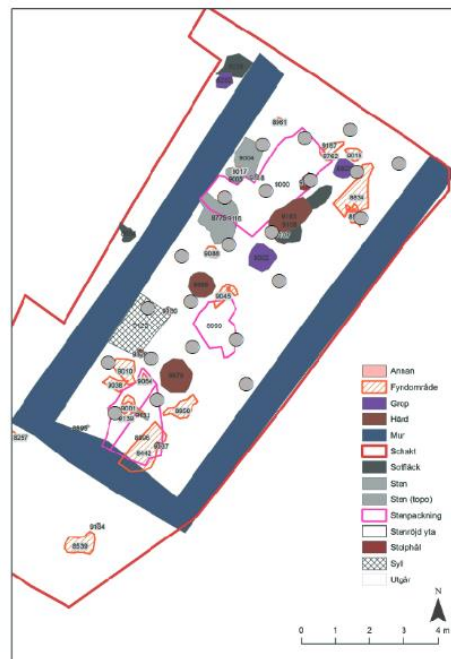
amyrin_a

Lupeol



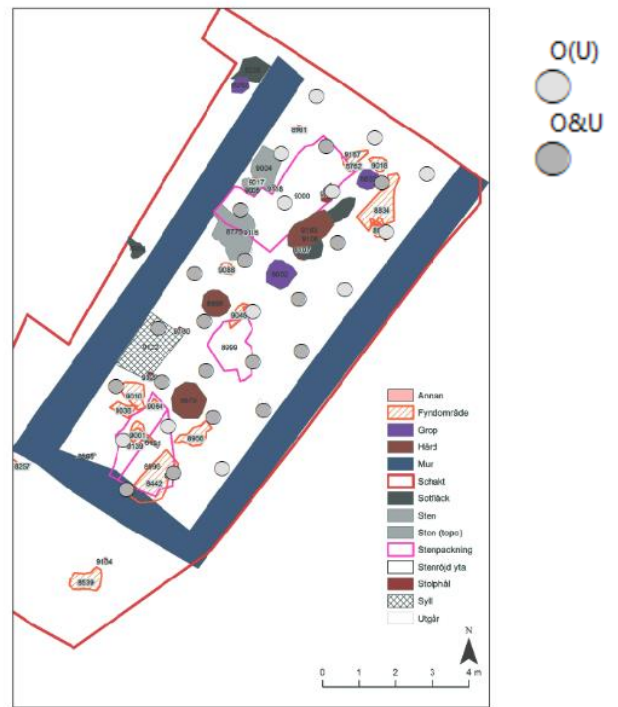
lup2
○
lup1
●

Betulin

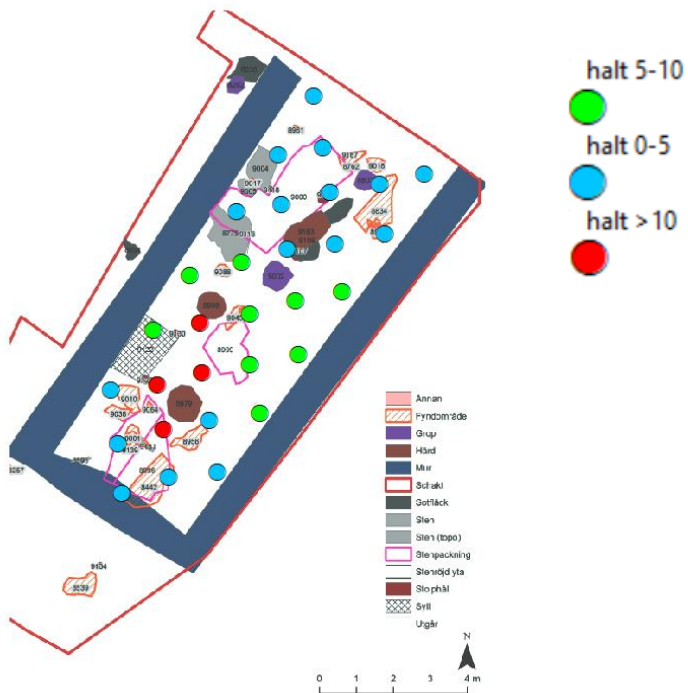


bet
●

Oleanolsyra och ursolsyra



Halt mg/g





Stockholm
University