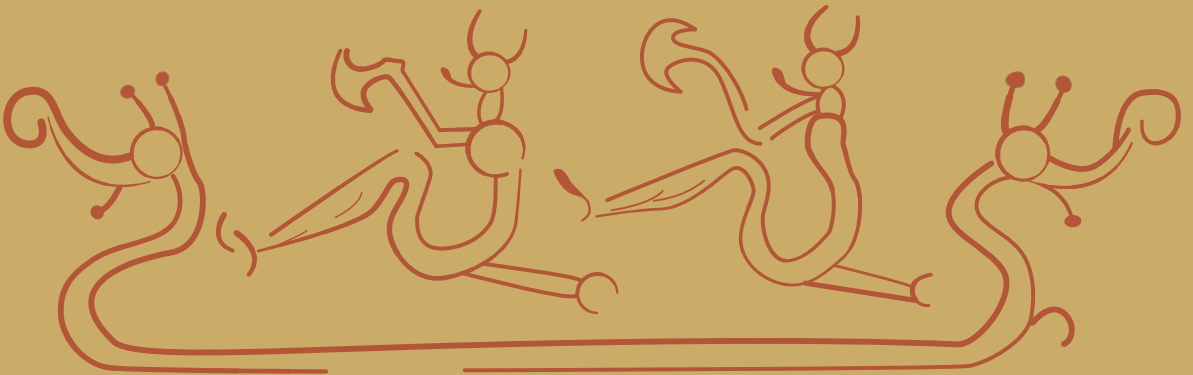


KUML 2020



KUML 2020

Årbog for Jysk Arkæologisk Selskab

With summaries in English

I kommission hos Aarhus Universitetsforlag

To østjyske smedjer fra middelalder og renæssance

Belyst gennem arkæologiske fund og
arkæometallurgiske analyser

Af ESSEN KLINKER HANSEN

I middelalderens og renæssancens Danmark indtog smeden, hans håndværk og værksted en helt central plads i landsbysamfundet. Hestesko, søm, beslag og redskaber måtte, før industriens indtog og landbrugets mekanisering i Danmark, fremstilles lokalt. I denne artikel behandles to sydøstjyske smedjer: Den ene er fra højmiddelalderen, mens den anden dateres til sen middelalder og tidlig renæssance. Bevaringsgraden og fundomstændighederne for de to smedjer har været forskellige og langt fra ideelle, men ikke desto mindre synes de begge at rumme væsentlige informationer om materialer og håndværk. Ved begge smedjer er der foretaget arkæometallurgiske undersøgelser, og de er derfor særdeles velegnede til at belyse nye aspekter af smedehåndværket og dets materialer på landet i middelalderen og renæssancen. Sammenholdt med udgravningsresultaterne fra en lille gruppe landsmedjer, som er udgravet de sidste tre årtier, er det muligt at tegne et mangfoldigt billede af håndværket, dets processer og materialer.

Forskningshistorik

I Danmark har forskningen i jern og smedehåndværk hovedsageligt koncentreret sig om fundmaterialet fra jernalder og vikingetid, med fokus på jernudvinding og smedeteknikker¹ samt i bredere forstand at belyse etableringen af en fastboende stand af specialiserede håndværkere.² Fra sen vikingetid findes et værkstedsområde med smedje ved Viborg Sønderø, der er indgående undersøgt med fokus på bygningsarkæologi og naturvidenskabelige analyser af værkstedets funktion og processer.³

Smedehåndværket, jernet og værkstederne i middelalderens og renæssancens Danmark er derimod mere sparsomt behandlet.⁴ Fokus har i høj grad været på den middelalderlige jernudvinding med hovedvægt på de tidligere danske områder i det sydlige Sverige.⁵ Vagn Fabritius Buchwald har gennem en menneskealder udført talrige analyser af arkæologiske jerngenstande og slagger og har mesterligt behandlet den hjemlige jernudvinding, det særlige halvfabrikat jernkloden, jernets proveniens og jernet som handels- og beskatningsobjekt. Dette er dog primært sket ud fra et naturvidenskabeligt-teknisk perspektiv uden egentlig inddragelse af arkæologiske kontekster og disses tolkningsmuligheder.⁶ Arne Jouttijärvi har gennem mange år foretaget et stort antal arkæometallurgiske analyser af metalgenstande, slagger og jordprøver. Der er ydet en stor og vigtig indsats inden for proveniensbestemmelse af jerngenstande og slagger, samt givet et væsentligt bidrag til tolkningen af smedjernes arbejdsområder.⁷ Jouttijärvi har også i kort form behandlet spørgsmål vedrørende udviklingen af smedjernes rumlige forhold og indretning fra jernalder til nyere tid ud fra et mindre antal anlæg.⁸ Henriette Lyngstrøm har gennem en lang årrække analyseret smedens håndværk og metoder ved anvendelse af eksperimentel arkæologi. Herved er fremkommet væsentlig ny viden om, hvilke affaldsprodukter der dannes ved smedning samt om spredningen af disse i værkstedet.⁹ Feltarkæologien har fremdraget – og fremdrager stadigt – middelalderlige landsmedjer, hvoraf et mindre antal er publiceret som pladsfremlæggelser og præsentationer af det enkelte anlæg, hvor smedjernes funktion og rumlighed er diskuteret, ofte på baggrund af analyser af aktivitetslagene, mens håndværket, dets materialevalg og processer kun er behandlet i mindre grad.¹⁰ I 2010 har Museum Horsens udført et forskningsprojekt, hvor et mindre antal hidtil udaterede smedjer samt to gruber med smedeaffald blev naturvidenskabeligt daterede, og forskellige smedeprocesser blev diskuteret.¹¹ Reelt er det arkæologiske materiale altså stadig beskedent og de tilgængelige komparativer få. Hertil er det problematisk, at der er stor forskel på, hvorledes smedjerne er dokumenteret feltarkæologisk på trods af det forhold, at der ofte er foretaget arkæometallurgiske analyser. Derfor ved vi i dag måske mere om smedjernes funktioner end om den rumlige indretning.

Arkæologiske og naturvidenskabelige metoder

Smedehåndværket efterlader ikke kun rumlige spor som smedjer, affaldsgruber og smedetofter. De forarbejdede jern- og stålgenstande, som findes i arkæologiske kontekster, rummer informationer om materialets sammensætning og kvalitet, men også udsagn om de essentielle processer: smedning, svejsning,

hærdning og opkulning. Processerne undersøges ved hjælp af metallografiske analyser, nemlig udførelse af slib, polering og ætsning i forskellige reagenser, som afslører prøvens mikrostruktur. Herved ses materialets sammensætning, kvalitet og de processer, der er anvendt.¹² Smedeslagger undersøges ligeledes ved mikroskopering, men morfologien spiller også en vigtig rolle.¹³ Indsamlingen af jord- eller fyldprøver er af helt afgørende betydning ved tolkningen af gulvlag eller andre aktivitetslag. Smedning ved ambolten efterlader nemlig de såkaldte smedeskæl eller hammerskæl. Disse opstår, når opvarmningen af jernet skaber en film eller overflade af oxideret materiale, som skaller af eller slås af ved smedning og anden formforandring. Nyere forskning har vist, at detaljerede analyser af hammerskællenes sammensætning og morfologi kan give viden om de processer, de er dannet af, idet der er forskel mellem hammerskæl fra den indledningsvise, grove bearbejdning af det udvundne jern og det mere bearbejdede, rensede jern.¹⁴ Bearbejdningen af det førindustrielle, heterogene jern efterlader, ud over smedeskællene, også små smede- eller svejsekugler. Disse er som oftest 1-3 mm tykke, sfæriske eller dråbeformede og er ligesom smedeskællene magnetiske. Disse er spor efter især rensning og oparbejdning af urent og slaggeholdigt jern, men kan også være spor efter svejsning, eller endog opstå, hvis et stykke jern ophedes for meget, så det gnistrer eller "brænder".¹⁵ Spredningsmønstret af smedeskæl og kugler er en vigtig kilde til identificering af den rumlige indretning af smedjer, da prøvetagning i kvadratfelter kan fortælle om f.eks. amboltens omtrentlige placering og i særlige gunstige tilfælde endog, hvor smeden har stået under arbejdet.¹⁶

I de sidste ca. 25 år har en ikke uvæsentlig del af forskningen inden for arkæologiske metaller og slagger drejet sig om en mulig proveniensbestemmelse af materialer. En stor del af arbejdet er foretaget med Skanning Elektron Mikroskop (SEM) i forskellige opsætninger. Den mest udbredte metode har været at aflæse indholdet af grundstoffer i jerngenstandes slaggeinklusioner og herefter omregne disse til oxider. Det viser sig, at slaggernes og slaggeinklusionernes indhold af navnlig siliciumoxid, jernoxid, aluminiumoxid, kaliumoxid og magnesiumoxid danner en unik profil, alt efter hvorfra malmen, som jernet er udvundet af, stammer. Denne profil går igen i alle processerne fra jernudvinding, over oparbejdning af jernet til de færdige genstande.¹⁷ Kildekritisk skal det dog understreges, at metoden rummer visse usikkerheder. Forskellige forskeres resultater på tværs af landegrænser kan godt være sammenlignelige og valide, men bør baseres på et stort antal analyser, ideelt set fra genstande fra samme historiske periode, da der ikke kun er forskelle fra region til region, idet slaggernes sammensætning kan være forskellig afhængig af periode, men også inden for samme region.¹⁸ Vagn F. Buchwalds forsøg på proveniensbestemmelse

af jerngenstande rummer netop denne skelen til forskelle i tid og rum. Han har på baggrund af et stort antal analyser slået til lyd for, at den såkaldte F-værdi, kan anvendes som en grov indikator på materialets geografiske oprindelse, dog med skyldigt hensyn til variationer over tid.¹⁹ Buchwald udregner F-værdien som forholdet mellem siliciumoxid (SiO₂) og aluminiumoxid (Al₂O₃). Er indholdet af siliciumoxid i en slagge eller en slaggeinklusion for eksempel 30,68 % og indholdet af aluminiumoxid 14,44 %, udregnes F-værdien således: 30,68 divideret med 14,44 = F 2,1. Meget groft forenklet kan man ifølge Buchwalds forskning sige, at inklusioner i jern fra middelalderens Sverige generelt har lave F-værdier fra 2 til 5. Lignende værdier gør sig gældende for norsk jern, mens det for det danske materiale ligger fra omkring 7 helt op til 20. Indholdet af fosfor er ligeledes en vigtig faktor, idet det danske myremalmsjern ofte er betydeligt mere fosforholdigt end jern fra Sverige/Norge. Buchwald har i sin forskning inddraget andre parametre og har eksempler på meget præcise proveniensbestemmelser til bestemte regioner i Skandinavien og Europa.²⁰ Arne Jouttijärvi har arbejdet videre med proveniensbestemmelse, men bruger mere forsigtigt en bredere proveniensbestemmelse til større zoner, hvor der skelnes mellem det lavtliggende Sydsandinavien og de højtliggende områder i Norge/Sverige og Centraleuropa, ligesom der skelnes mellem dansk jern øst og vest for israndslinjen.²¹

Smedjen ved Kristinebjerg Øst

I et større område sydvest for Fredericia, mellem Taulov og Erritsø, undersøgte VejleMuseerne i 2007-2009 nogle store arealer mellem Kolding Landevej og motorvej E45. De mange kampagner førte til undersøgelse af et samlet areal på næsten 40 ha. Der blev udgravet omfattende bebyggelsesspor, som viste en lang kontinuitet fra jernalder over vikingetid, middelalder og renæssance, selvom bebyggelsen dog så ud til at flytte lidt rundt (fig. 1).²²

På et let hævet plateau mod øst i området blev der fundet en omfattende og udbredt bebyggelse fra tidlig middelalder og højmiddelalder, men der blev også fundet middelalderlige huse andre steder på området. Endelig blev der på et let hævet plateau mod sydøst tæt op til Kolding Landevej konstateret bebyggelsesspor fra 15-1600-tallet. Særlig interessant fandtes en brandtomt, der tolkedes som den tidligere Henneberg Ladegård, der i 1629 omtales som nedbrændt af de tyske tropper under Kejserkrigen. På baggrund af de omfattende undersøgelser er det sandsynligt, at der i middelalder og højmiddelalder gennem flere faser på stedet eksisterede en landsby, som i sen middelalder og renæssance blev afløst af den historisk dokumenterede Hennebjerg Ladegård.²³

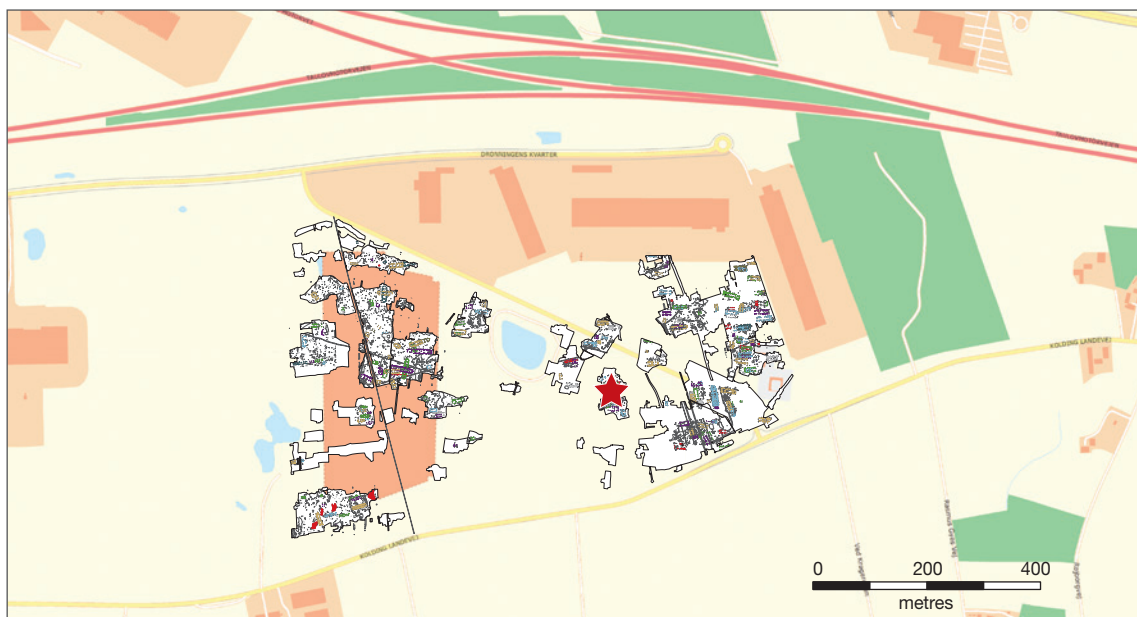


Fig. 1. VKH7087 Kristinebjerg Øst mellem Kolding Landevej og motorvej E20. Den lille gård med smedjen er markeret med rød stjerne.

The excavation at Kristinebjerg Øst was situated between Kolding Landevej and the E20 motorway, southwest of Fredericia, Jutland. The small farm with the smithy is marked with a red star.

Bedst dateret på den middelalderlige bebyggelse var et lille gårdsanlæg, som viste sig at have rummet en smedje. Anlægget bestod af husene GA/GAB, GG samt stakladen GF. I tilknytning til gårdsanlægget fandtes brønden A12454, hvis tømmerkonstruktion blev dendrodateret til vinteren 1234/35. Anlægget med smedjen lå en smule isoleret fra den øvrige middelalderbebyggelse på et let vestligt skrånende terræn i udkanten af det østlige plateau. Gårdsanlægget bestod af hovedhuset GA, som målte ca. 27x6 m. Både i nord- og sydside havde huset partielle udskud. Huset har muligvis haft flere byggefaser, eller det kan have været genopbygget på nøjagtigt samme sted, for der blev udskilt en separat konstruktionsfase, kaldet GAB. Denne fase var muligvis en afløser for huset GA, men var placeret nøjagtigt oven i dette. Den mest sandsynlige tolkning var, efter de udgravende arkæologers opfattelse, at stolperne i hus GA er blevet løbende udskiftet, og huset må derfor have haft en relativt lang funktionsperiode. Omtrent 6 m nord for hovedhuset lå en mindre bygning, GG, som dels var bygget med jordgravede stolper og dels på syldsten. Dette lille hus, hvis funktion ikke kunne bestemmes nærmere, målte ca. 9x4 m. Øst for hovedhuset lå stakladen GF (fig. 2).

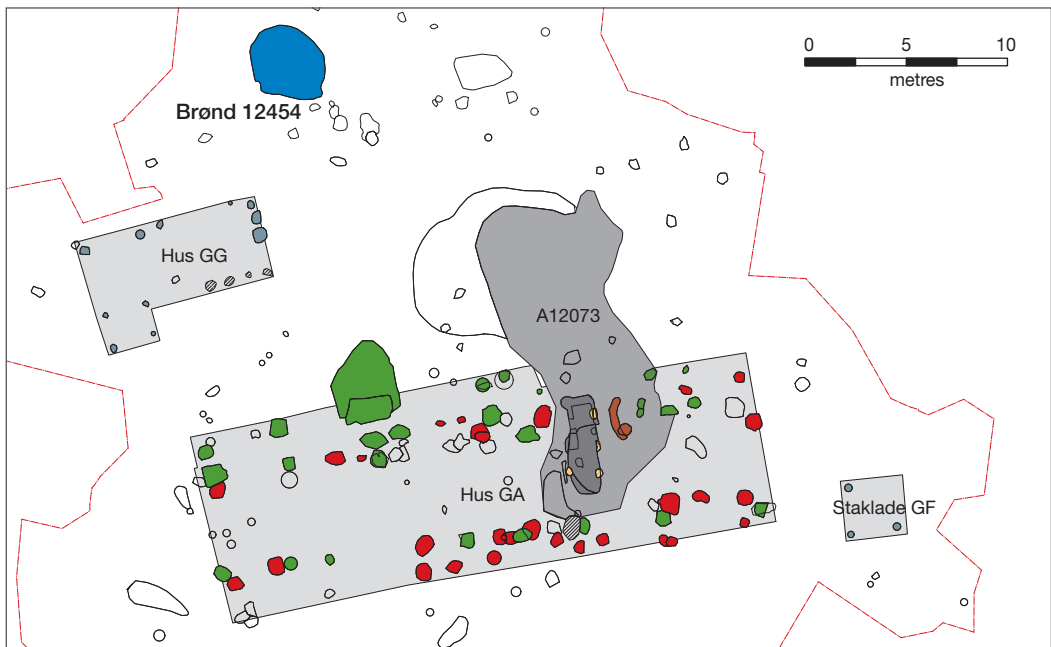


Fig. 2. Udgravningsfeltet med det lille gårdsanlæg med hovedhus GA, udbygning GG og staklade GF. Huset GA er markeret med røde og grønne stolpehuller, der repræsenterer to forskellige faser. Nordligt ses brønden A12454 markeret med blå.

The small farm with main house GA, outbuilding GG and stackyard GF. The house is marked with green and red postholes, representing two different phases. The well A12454 was situated north of GG (blue).

I hus GA/GAB's stolpehuller blev der fundet en del skår af middelalderlig gråvare samt et stykke grønglaseret importkeramik fra Rouen. Keramikken dateres til 1250-1350, hvilket stemmer godt overens med husets vurderede funktionstid. I den vestlige del af dette hus blev der fundet rester af en ovn i forbindelse med husets nordlige væg. Formentlig er der tale om en bageovn. I husets østlige ende viste det sig, at der tydeligvis har været en smedje. Der blev nemlig fundet store mængder jernslagge, trækul og smedeskæl.²⁴ Heldigvis blev der allerede i udgravningsfasen erkendt et potentiale i smedjen, og at der også skulle foretages en arkæometallurgisk analyse. Der blev indsamlet fyldprøver fra et aktivitetslag i smedjen, samt hjemtaget et større antal slagge til analyser.²⁵

Inde i husets østende fandtes det store fyldskifte A13956, som var placeret midtfor, omtrent 8 m fra husets østende. Det var aflangt og orienteret nærmest nordvest-sydøst, ca. 3,5x1,5 m i udbredelse og cirka 25 cm dybt. Fyldskiftet indeholdt ret mange slagge (8,72%), jern (1,34%), forglasset ler

(0,85%) samt trækul. Afgrænsningerne var nærmest parallelle mod øst og vest og må betegnes som nogenlunde rektangulært og beliggende nærmest retvinklet på husets længderetning. I fyldskiftets vestlige og østlige kanter fandtes et sikkert stolpehul samt flere usikre, som kan antyde tilstedeværelsen af en lille trækonstruktion, som f.eks. en træramme, eller måske lige så sandsynligt tilstedeværelsen af en ambolt placeret forholdsvist centralt i dette mørke aktivitetslag fyldt med spor efter smedning. Nord for fyldskiftet fandtes laget A13968, som lå helt op mod A13956 og uden tvivl skal ses i sammenhæng med dette. I laget fandtes stolpehullet A13953, som med sin mørke, humøse fyld måske kan tolkes som spor efter en amboltstok. Som et større, mere diffust, men dog mørkt og trækulsholdigt aktivitetslag, fandtes A12073, som var ca. 6 m bredt i øst-vestlig retning og ca. 15 m langt i nord-sydlig retning. Helt tydeligt var dette et aktivitetslag forårsaget af smedeaktiviteten i huset, men det strakte sig også nord for huset. Ydermere skal det bemærkes, at flere stolpehuller i smedjens nordlige langsider ikke oprindeligt blev tolket som en del af husets konstruktion.

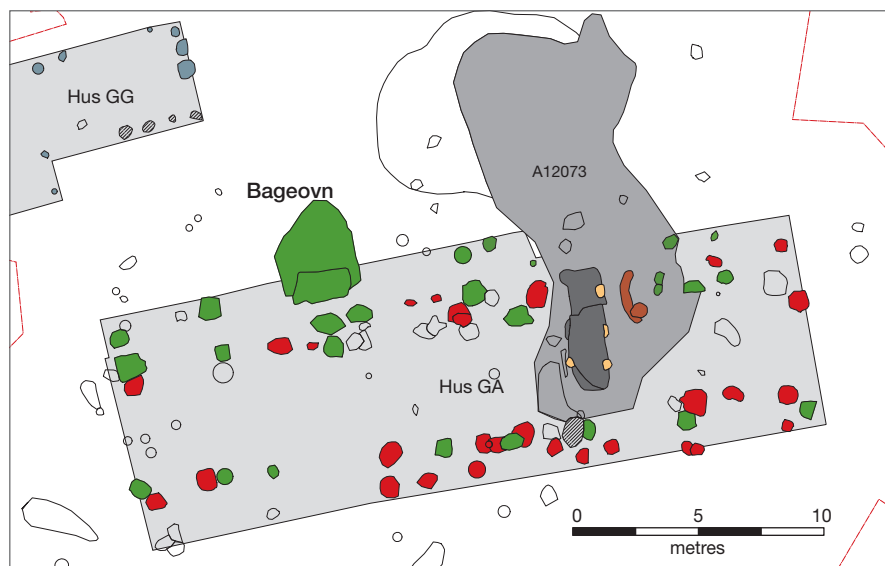


Fig. 3. Huset GA med smedje i østenden. Det store aktivitetslag A12073 markeret med gråt. Laget må være udtryk for arbejde og transport af trækul. Det strækker sig fra smedjens indre til et stykke nord for huset, op mod en fugtig lavning. Aktivitetslagene A13956 og A13968, med omfattende spor af smedeaktivitet, er markeret med mørkegråt. Mulige stolpehuller i lagene markeret med orange.

Interpretation of house GA with a smithy. Activity layer A12073 is marked in grey, layers A13956 and A13968 are marked in dark grey. These layers contained abundant remains from smithing activity. Possible postholes adjacent to these layers are marked in orange.

En fortolkning af smedjen kunne se således ud: Huset har haft en lidt spinklere konstruktion i den nordøstlige ende, hvilket kan forklare de lidt mindre stolpehuller. Inden for husets afgrænsning har selve smedjeområdet været. Det har bestået af aktivitetslagene A13968 og 13956, som jo viser alle tegn på smedning i form af mindre slaggerester, trækul og fragmenter af brændt ler, antagelig fra smedeessen. Det større aktivitetslag, A12073, strækker sig fra smedjens indre og udenfor. Det må tolkes som udtryk for aktivitet og transport af trækul ind og ud. Denne fortolkning sandsynliggør, at man i den østlige del af et 1-skibet hus med partielle udskud har smedeaktivitet indendørs på et område, der omtrent er 6 m langt og 6 m bredt, og hvis absolut mest sandsynlige døråbning og lysindfald har været mod nord. Ved opvarmning af jern umiddelbart forud for smedning er det af største vigtighed, at jernets glødefarver kan aflæses. Dette gøres bedst i den belysning, som et rum med et begrænset lysindfald og en deraf følgende let dæmpet belysning kan give. (fig. 3-4).

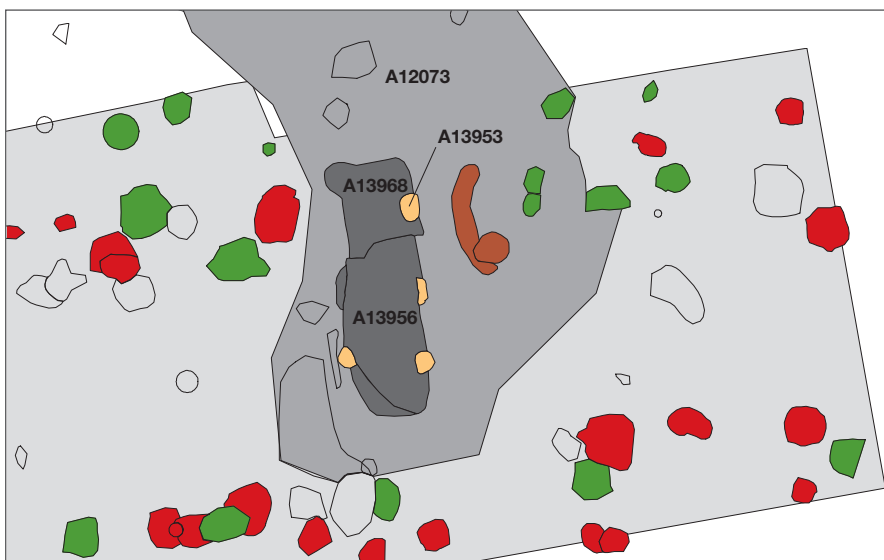


Fig. 4. Fortolkning af smedjen i huset GA. Aktivitetslaget A12073 (gråt) sandsynliggør døråbning, lysindfald og trafik vendt mod nord. Centralt i smedjen ses aktivitetslagene A13956 og A13968 markeret mørkegrå, samt mulige stolpehuller markeret orange. Stolpehullet A13953 er måske spor efter amboltstokken. Fyldskifter med smedeslagger ses mod øst, markeret med brunt.

Interpretation of the smithy in house GA. The door, and with it the light source, was most probably situated to the north side of the forge, as shown by the activity layer A12073. Activity layers A13956 and A13968 are located centrally in the smithy. Adjacent to them are possible postholes, marked in orange. Posthole A13953 possibly relates to the anvil block. Layers containing slag are marked in brown.

I forbindelse med smedjen blev der fundet en større mængde slagge, hvoraf de fleste var såkaldte plankonvekse smedslagge, formet i bunden af en smedeesse. En del af disse slagge blev undersøgt og analyseret af Arne Jouttijärvi.²⁶ I alt blev der foretaget 26 analyser af slagge fra smedjen (Skema 1). På baggrund af SEM-grundstofanalyse konkluderedes det, at slaggenes indhold af siliciumoxid (SiO₂) og jernoxid (Fe₂O₃), samt det forhøjede indhold af calciumoxid (CaO) og kaliumoxid (K₂O) viste, at de fleste slagge med overvejende sandsynlighed er opstået som følge af rensning af jernlupper.²⁷ Enkelte af de mindre slaggefragmenter kan være brudstykker af slagge fra jernudvinding, som har siddet på overfladen af den udvundne jernluppe, og er blevet slået af før opvarmning i essen. Der var altså ikke sket egentlig jernudvinding i selve smedjen. Sammensætningen af rensningsslagge synes ifølge Jouttijärvi at stemme godt overens med udvindingsslagge fra Danmark øst og nord for hovedstilstandslinjen. Også ved sammenligning med analyser af slagge udført af Vagn F. Buchwald forekommer denne tolkning yderst sandsynlig. Slagge fra smedje GA har F-værdier fra 4,9 til 16,4, hvilket antyder, at der ikke er rensning af jern fra Sverige/Norge. Slaggenes analysedata ligger tæt op ad en serie analyser udført på slagge fundet på flere midtjyske og østjyske lokaliteter ved Funder, Vejerslev, Tvillum Kloster, Thorning og Ring Kloster. Her ses sammenlignelige F-værdier, som alle er fra 6,47 til 12 samt indhold af grundstoffer, som ligger ganske tæt op ad slagge fra smedje GA.²⁸ Det kan altså konstateres, at der i smedjen GA med stor sandsynlighed er blevet oparbejdet en del urent jysk myremalmsjern. Skønt processen i smedjen er tolket som rensning af jernlupper, synes det paradoksalt, at der ingen jernudvindingsslagge eller andre spor efter jernudvinding er fundet på lokaliteten.

Smedjen ved Skovhavegård

I den ældste del af den lille landsby Stouby mellem Vejle og Juelsminde undersøgte VejleMuseerne i vinteren 2017-2018 et mindre jordstykke på knapt 1.200 m² på hjørnet af Borgergade og Rosenvoldvej. Her fremkom sporene af en smedje fra senmiddelalder og renaissance.²⁹ På stedet lå indtil 2011 gården Skovhavegård. Gården findes på de såkaldte Original 1-kort og må i hvert fald gå tilbage til omkring 1800, men kan være ældre (fig. 5-6). Øst for gården er der i forbindelse med byggemodning af gårdens jord fundet en tofte med ret lang bebyggelseskontinuitet, tidligst fra tiden efter ca. 1300 og omkring 400 år frem. Denne undersøgelse blev udført af Horsens Museum (fig. 7).³⁰

I området vest, nord og nordøst for selve gården fandtes mange bebyggelsesspor fra middelalder og renaissance samt et større antal gruber og kulturlag. Mod vest fandtes en bygning med flere byggefaser fra perioden ca. 1300-1400

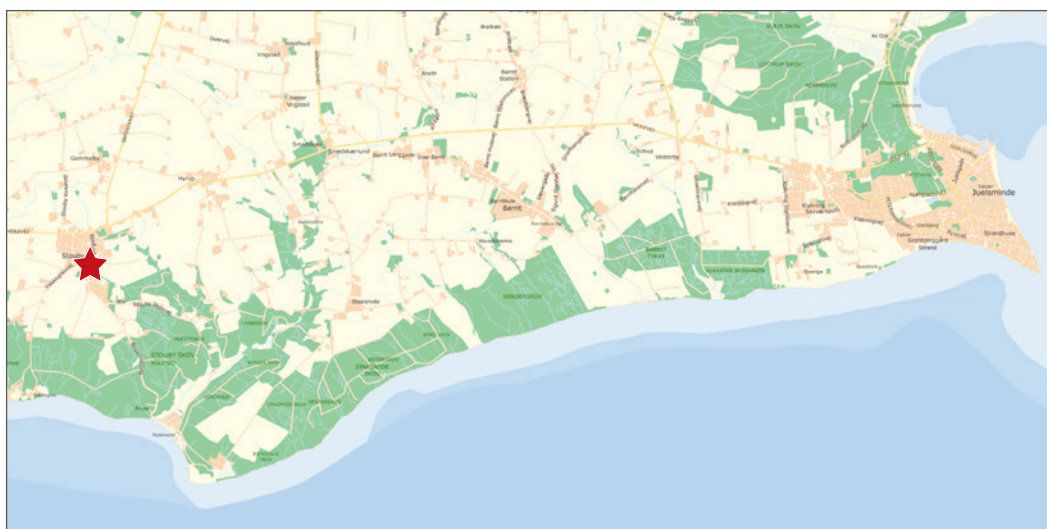


Fig. 5. Landsbyen Stouby ligger få kilometer nord for Vejle Fjord.
Stouby village is situated a few kilometres north of Vejle Fjord.



Fig. 6. Stouby på et Original 1-kort fra ca. 1819. Centralt på kortet ses Skovhavegård som et trelænget anlæg. Placeringen var uændret indtil nedrivningen i 2011. Øst for gården er smedjen A1 markeret med rød stjerne.

Stouby village, c. 1819. The three-winged Skovhavegård farm is seen at the same location until 2011, when it was demolished. Smithy A1, east of the farm, is marked with a red star.

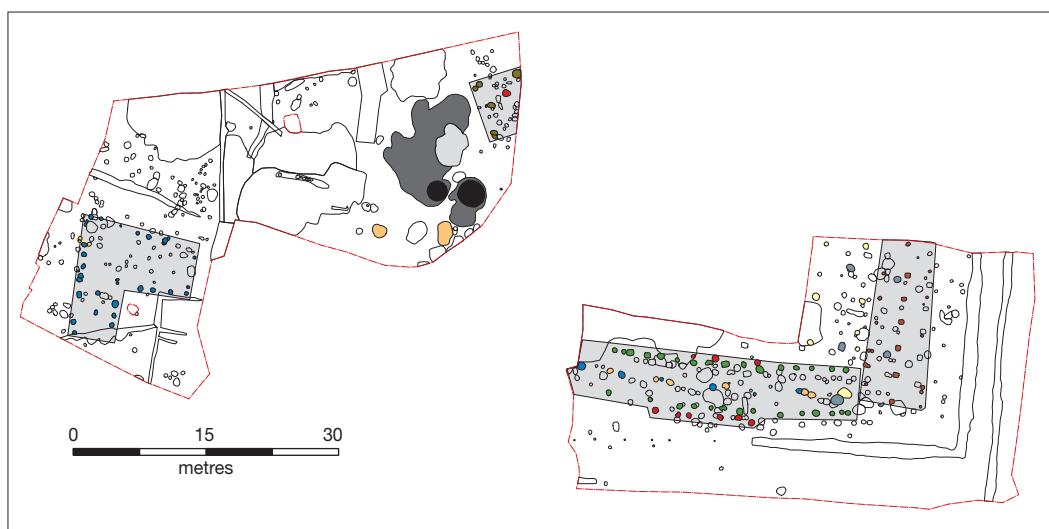


Fig. 7. Sammentegning af udgravningsresultater fra 2011 og 2018. Mod øst ses bebyggelse fra tiden 1300-1700 i mange bebyggelsesfaser, udgravet af Horsens Museum. Mod vest VejleMuseernes udgravning.

Combined excavation results from 2011 and 2018. Excavation by Horsens Museum, 2011, to the east. Traces of settlement from c. AD 1300-1700 in a multitude of phases. To the west, the excavation by VejleMuseerne.

med en mulig tilbygning fra 1500-tallet. Længst mod øst lå smedjen A1 med tilhørende kulturlag og affaldsgruber (fig. 8). Smedjen blev erkendt allerede i udgravningsfasen på grund af slagger i stolpehullerne samt i gruber og kulturlag i den umiddelbare nærhed. Det var desværre umuligt at afdække anlægget i fuld udstrækning, da det lå helt ud mod det udpegede interesseområdes afgrænsning og en allerede etableret cykelsti. Ikke desto mindre viste det sig, at de beskedne rester af smedjen rummede væsentlige udsagn om håndværk og materialer.

Smedjen bestod af seks ganske tydelige stolpehuller med en næsten kulsort, trækulsholdig fyld. Tilstedeværelsen af en del andre stolpehuller besværliggjorde tolkningen, dog kunne smedjen med stor sandsynlighed udskilles på grund af kraftigere dimensioner, trækulsholdig fyld og tilstedeværelsen af slagger. Antager man, at der er tale om en øst-vest orienteret konstruktion, har husets bredde været ca. 6,5 m. Samtlige stolpehuller var temmelig store og fladbundede, og det kan ikke afvises, at der i stedet for egentlige stolpehuller har været tale om stenspor fra syldsten. Hvorvidt huset har været 1-skibet eller af midtsulekonstruktion er usikkert. Stolpehullet A191 viste sig at indeholde mangeammerskæl, og det er formentlig spor efter amboltstokken. Tre prøver fra smedjens stolpehuller er 14C AMS-dateret til perioden 1486-1573.³¹

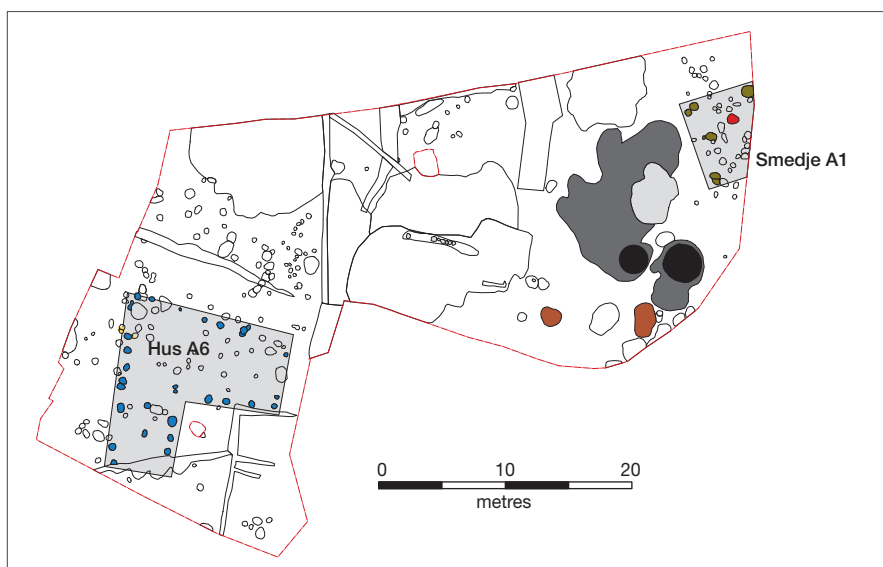


Fig. 8. Udgravningens resultater. Den vinkelformede gård A6 fra 1300-1500-tallet ses mod vest. Smedjen A1 og gruberne ses mod øst.

Excavation results. Farmhouse A6, dating from c. 14-16th century, is to the west. The smithy and the refuse pits are to the east.

Umiddelbart vest for den delvist afdækkede smedje fandtes et kompleks af affaldsgruber samt to brønde, alle med et ret stort indhold af slagger. Hertil kom flere kulturlag omkring brøndene, alle med indhold af trækul, slagger, stenkul og metalgenstande. Det var tydeligt, at alle anlæggene var udtryk for aktiviteter relateret til smedjen: forsyning og transport af vand samt deponering af affald og slagger fra smedjen (fig. 9).³²

Skønt selve smedjen kun blev delvist afdækket, var formodningen, at der alligevel ville kunne hentes betydelig viden om processer og materialer. Derfor blev der, ud over de almindelige 5 l's floteringsprøver til datering, indsamlet et antal arkæometallurgiske fyldprøver, slagger og jerngenstande fra området ved smedjen. En arkæometallurgisk undersøgelse blev senere udført på VejleMuseerne.³³

Jernslagjerne var udgravningens mest omfangsrige fundkategori. I stolpehullerne til smedjen A1 fandtes slagger i stolpehullerne A194 samt A205. Også i stolpehullet A191 fandtes slagge. Desuden fandtes et forholdsvist stort antal slagger i lag og gruber, der lå syd og vest for smedjen. Således var der i gruberne A232 og A242, laget A233 samt brønden A384 et større antal, hvoraf hovedparten tydeligt kunne karakteriseres som såkaldte plankonvekse, eller konveks-konkave slagger. Plankonvekse esseslagger er karakteriseret ved en mere eller mindre "plan"

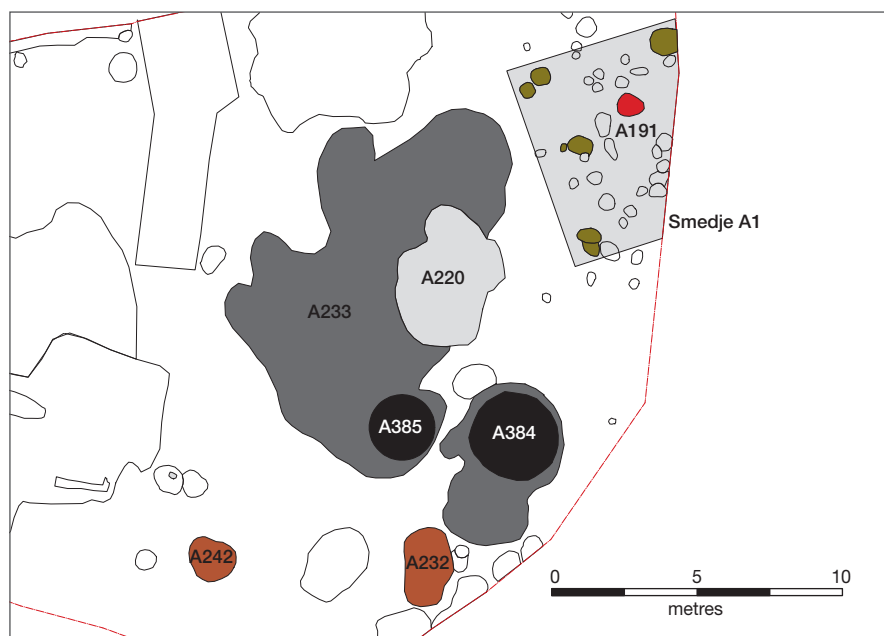


Fig. 9. Smedjen A1 markeret med grønne stolpehuller og grå skygge. Med rødt ses stolpehullet A191, der antagelig er spor efter amboltstokken. Mod vest ses brøndene A384 og A385, samt kulturlag og gruber med smedeaffald.

Smithy A1 marked with dark green postholes and grey shading. A191, marked in red, very probably represents the anvil block. West of the smithy are the two wells A384 and A385, as well as refuse layers and pits containing ironworking debris.

overside, en afrundet underside, der har form efter smedeessens bund, samt ofte en bagkant med spor efter essens indblæsningshul. Den plankonvekse slagge er en rensningsslagge, et affaldsprodukt af op- eller videreforarbejdningen af det urene, heterogene myremalmsjern, der anvendtes i Danmark i middelalderen og frem til begyndelsen af 1600-tallet. Derefter skete et skift i materialeudbud, der tilgængeliggjorde større mængder renere og mere oparbejdede jernprodukter fra udlandet. Dette renere jern gav ved forarbejdning i smedeessen ikke samme slaggemængde.³⁴ Gennemgående er de plankonvekse slagge fra Skovhavegård 15-17 cm brede, 13-14 cm lange og 8-10 cm høje/tykke og vejer generelt 800-1500 gram. De er alle tydeligt og regelmæssigt rundede i bunden. Morfologisk kan de plankonvekse slagge karakteriseres som esseslagge fra rensning. Der er ikke tale om jernudvindingsslagge (fig. 10-11).³⁵

Der blev hjemtaget et repræsentativt udvalg af slagge fra flere affaldsgruber nær smedjen. Tre plankonvekse slagge fra grube A232, slagge X42.1-X42.3, blev undersøgt mikroskopisk.



Fig. 10. Plankonveks slagge X44 set fra bagkanten. Bemærk fordybningen fra essens indblæsning og den rundede bund, formet af essen. Bredde: ca. 17 cm.

Plano-convex slag X44, seen from the rear. Note the hollow shape caused by the airflow from the hearth's tuyere, and the rounded shape of the underside, formed by the furnace.

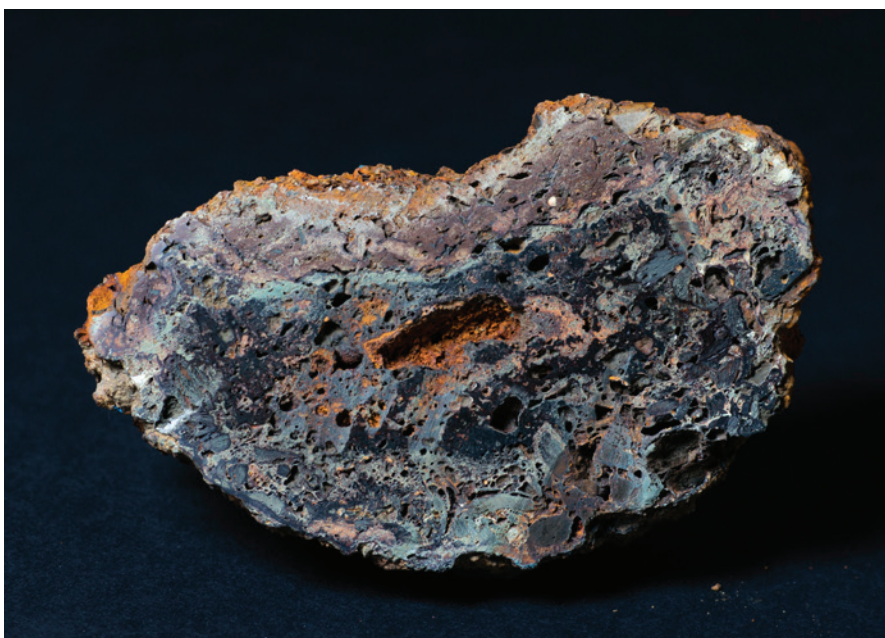


Fig. 11. Plankonveks slagge X42.1 fra grube A232 gennemskåret.

Section through plano-convex slag X42.1 from refuse pit A232.

Mikroskopering af slaggerne viste heterogen spredning af Wüstit, samt mange små, fine, og større netværk af Wüstit-dendritter. Wüstit er en jernholdig forbindelse, der hyppigt ses i jernslagge. Her kan den også indeholde mangan, vanadium eller krom. Forbindelsen størkner ofte som såkaldte dendritter, små symmetriske gevækster. Slaggerne indeholdt også fayalit og fayalitblokke. Fayalit er et silikat og en af hovedbestanddelene i jernslagge. Det kan ofte manifestere sig som fine, nærmest lagdelte blokke. Som det ofte ses i slagge, kunne en del glasfase også ses. Disse bestanddele er helt almindelige i jernslagge. Desuden kunne mange små, afrundede jernstykker observeres, hvilket heller ikke er ualmindeligt i rensningsslagge (fig. 12-14).

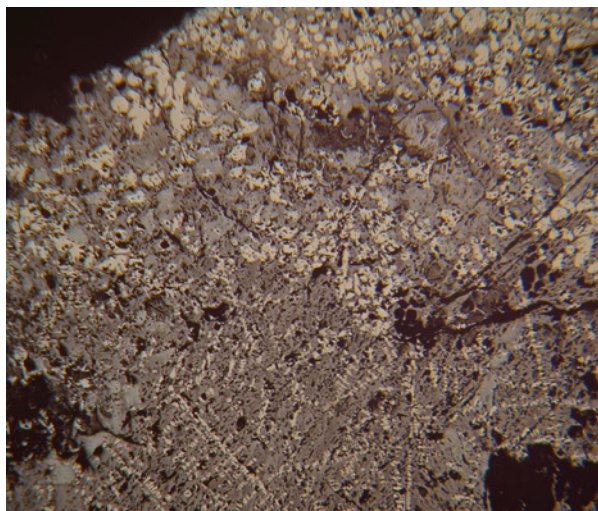


Fig. 12. Mikrografi af plankonveks slagge X42.1. Wüstit, Wüstitdendritter i fint netværk, samt fayalit og fayalitblokke i glasfase. Forstørrelse 40X.

Microscopy of plano-convex slag X42.1. Wüstite, wüstite-dendrites and fayalite laths in a glassy matrix. x40.

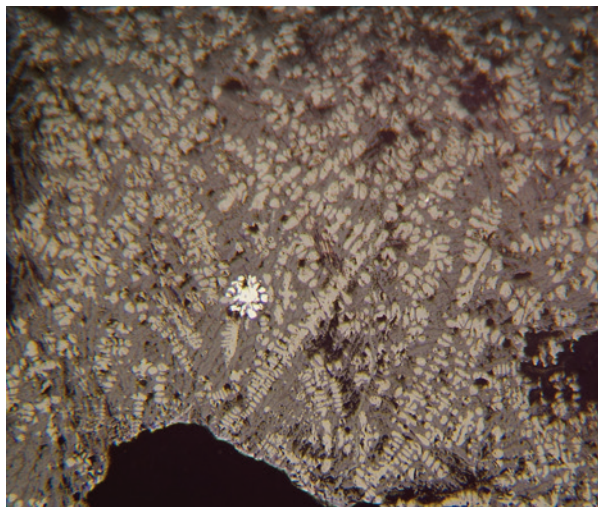


Fig. 13. Mikroskopi af plankonveks slagge X42.2. Wüstitdendritter, fayalitblokke og glasfase. Desuden små runde jernpartikler. 100X forstørrelse.

Microscopy of plano-convex slag X42.2. Wüstite dendrites and fayalite laths in a glassy matrix. Globular iron particles. x100.

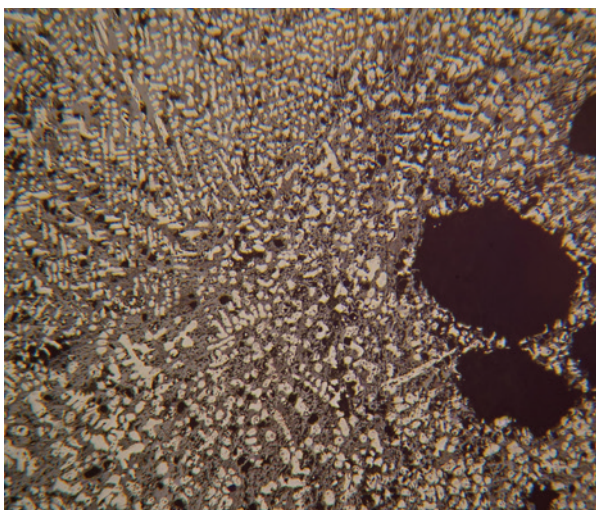


Fig. 14. Mikroskopi af plankonveks slagge X42.3. Wüstit og fayalit. 40X forstørrelse

Microscopy of plano-convex slag X42.3. Wüstite and fayalite. x40.

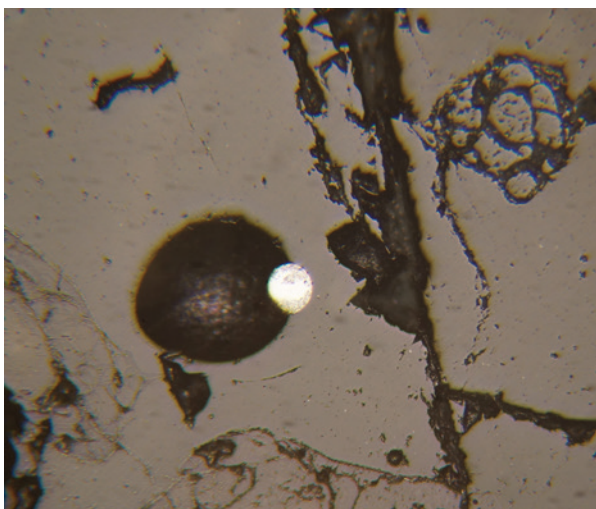


Fig. 15. Mikroskopi af slaggen X46. Slagge med jernstykke. Forstørrelse 100X.

Microscopy of slag X46. Circular or spheroidal iron particle. x100.

En enkelt af de analyserede slagge adskilte sig både morfologisk og mikroskopisk. Slaggen X46 var tydeligvis lettere og mere porøs end de ovenfor behandlede. På oversiden sås tydeligt mørkt grønlig og grålig, forglassede partier. Ved mikroskopering sås, i modsætning til de ovenfor behandlede slagge, ingen af de tidligere omtalte, typiske mikrostrukturer, som er karakteristiske for rensningsslagge. Dog kunne en del små afrundede, eller nærmest kugleformede stykker jern ses (fig. 15). Sammenlignet med de øvrige slagge (X42.1-X42.3) adskiller denne slagge sig ved det meget højere indhold af siliciumdioxid (SiO_2), eller kvarts, som udgør hovedparten af sand. Hertil bemærkes det markant lavere indhold af jernoxid (FeO) i forhold til øvrige slagge.

Det er sandsynligt, at der her er tale om en esseslagge, hvor en ganske stor del af smedessens sandmagrede lerforing er smeltet sammen med slaggematerialet. For dette forhold taler endvidere konteksten, idet slaggen er fra laget A417, et kulturlag som lå umiddelbart over og i forbindelse med smedjen A1.

For at supplere og opkvalificere den morfologiske og mikroskopiske undersøgelse, blev der foretaget SEM EDX-grundstofanalyser af slaggerne fra grube A242 (Skema 2). Hertil var ønsket også at forsøge at give en generel proveniensbestemmelse af materialet for at af- eller bekræfte, om slaggerne var opstået ved rensningsmedning af hjemligt myremalmsjern. Som komparativt materiale anvendtes Vagn Buchwalds analysearbejde, udført på et stort antal slagger fra Skandinavien og Europa.³⁶

Disse analysedata viser en stor lighed med analysedata af 30 rensnings-slagger fra det middelalderlige Danmark, perioden ca. 1000-1500-tallet.³⁷ Et fællestræk er, ud over de rent morfologiske, det lave indhold af MnO og P₂O₅ samt tilstedeværelsen af små rundede jernstykker.³⁸ De 30 nævnte analyserede slagger tolkes alle af Buchwald som resultatet af rensning af lokalt fremstillet midtjysk jern. Der ses høje F-værdier, gennemsnitligt 9,28, hvor værdier fra f.eks. Norge og Sverige typisk ligger på 5 eller derunder. Resultaterne ligner tilnærmelsesvist også analyserne fra Kristinebjerg (Skema 3).

Ser man bort fra slaggen X46, der tydeligvis ikke er en rensningslagge, er der god sammenlignelighed mellem de gennemsnitlige værdier fra Buchwalds middelalderlige rensningslagge og slaggerne X42.1-X42.3 (Skema 4). Fordelingen af grundstofferne i oxider såvel som F-værdierne er, om end ikke identiske, så ganske sammenlignelige, set ved de gennemsnitlige værdier.

Som nævnt tidligere, adskiller slaggen X46 sig tydeligt fra de øvrige tre slagger (X42.1-X42.3), både med hensyn til morfologi og mikroskopi. Grundstofanalysen viser desuden et meget større indhold af siliciumdioxid (SiO₂) og et meget lavere indhold af jernoxid (FeO). Lignende data er set hos Buchwald.³⁹ Der må være tale om en esseslagge med et stort indhold af forglasset, smeltet lerforing fra smedeessen, eller sand, tilsat af smeden under rensnings- og svejseprocessen som flusmiddel. Under essesvejsning er det af største vigtighed at nedsætte eller forhindre tilgangen af ilt til det område af jernstykkerne, der skal svejses sammen. Ellers risikerer smeden, at jernet udsættes for en alt for høj varme, og jernet "brænder", hvilket forringer dets mekaniske egenskaber. Derfor tilsættes et flusmiddel, ofte sand, som smelter og lægger sig som en skal omkring jernet, indtil øjeblikket kommer, hvor man kan svejse jernet ved sammenhamring på ambolten.

Der blev fundet jernstykker i anlæg, der direkte eller indirekte knytter sig til smedjen. Således blev der fundet jern i stolpehullerne A194 samt A197. Der

blev ligeledes fundet jern i lag og gruber umiddelbart vest og sydvest for A1-A3, nemlig i A220 (X3), A233 (X10) samt A243 (X20), samt i brønden A384 (X44.1). Kun et mindre antal jerngenstande var så godt bevaret, at der kunne udføres metallurgiske analyser. Hvor det var muligt, blev der udført metallografi og SEM EDX-analyser af slaggeinklusioner i materialet.

I affaldsgruben A220 blev der fundet et lille søm (X3) af kun 2 cms længde. Ved metallografisk undersøgelse viste det sig, at materialets struktur var stærkt heterogen, men hovedsageligt ferritisk og med lavt fosforindhold. Der kunne observeres tydelige ferritkorn, dog med ferrit-perlit struktur mod ydersiderne (fig. 16). Enkelte steder var der større indhold af perlit, hvor kulstofindholdet er helt op mod ca. 0,5% (fig. 17-18). Der var altså tale om et søm smedet af et heterogent materiale bestående af dels helt rent og blødt ferritisk jern, dels af ferritisk-perlitisk materiale med forhøjet indhold af kulstof, som måske skyldes en let opkulning i smedeessen. En sådan opkulning sker, når jernet under opvarmning i en reducerende zone i essen optager kulstof fra brændslet. Det lave indhold af fosfor, det let forhøjede indhold af mangan samt forholdet mellem Al_2O_3/CaO kan pege på en oprindelse i Sverige/Norge, trods lidt høje F-værdier på 5,6-6,2. Navnlige ses ligheder med svensk fremstillet stangjern fra renæssancen (Skema 5).⁴⁰

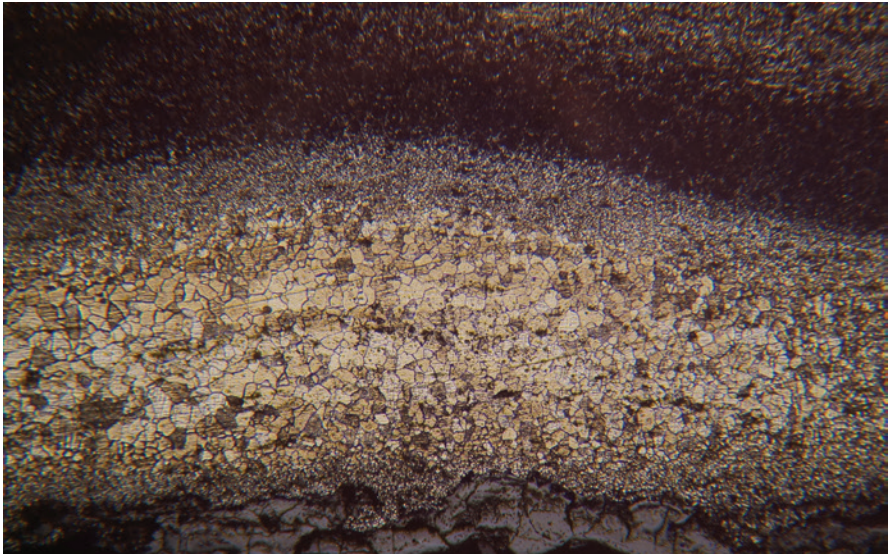


Fig. 16. Sømmet X3, metallografi, 40X forstørrelse, ætsning 2% nital. Overvejende ferritisk struktur.

Nail X3, metallography x40, polished etched section, 2% nital. Predominately ferritic structure.

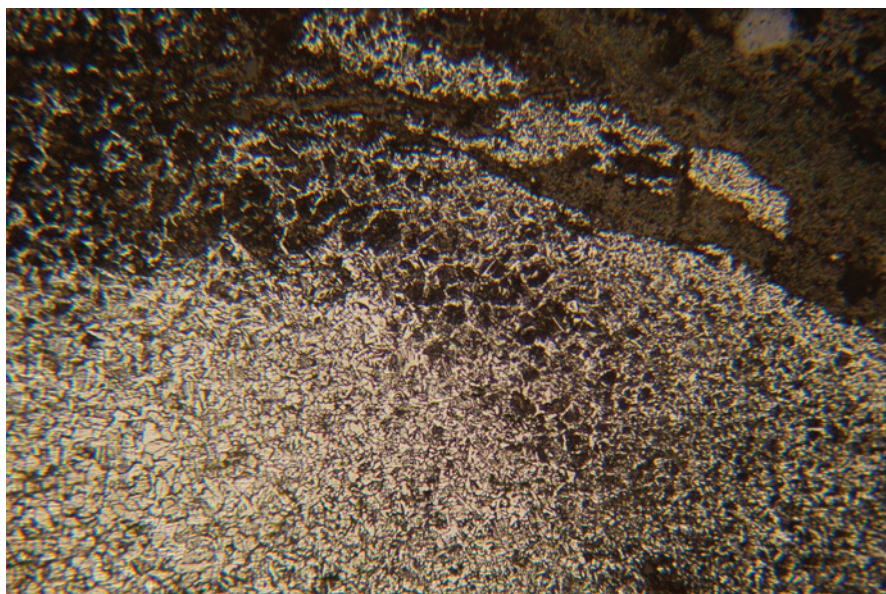


Fig. 17. Sømmet X3, metallografi, 100X forstørrelse, ætsning 2% nital. Ferrit-perlit struktur.

Nail X3, metallography x100, polished etched section, 2% nital. Ferritic-pearlitic structure.

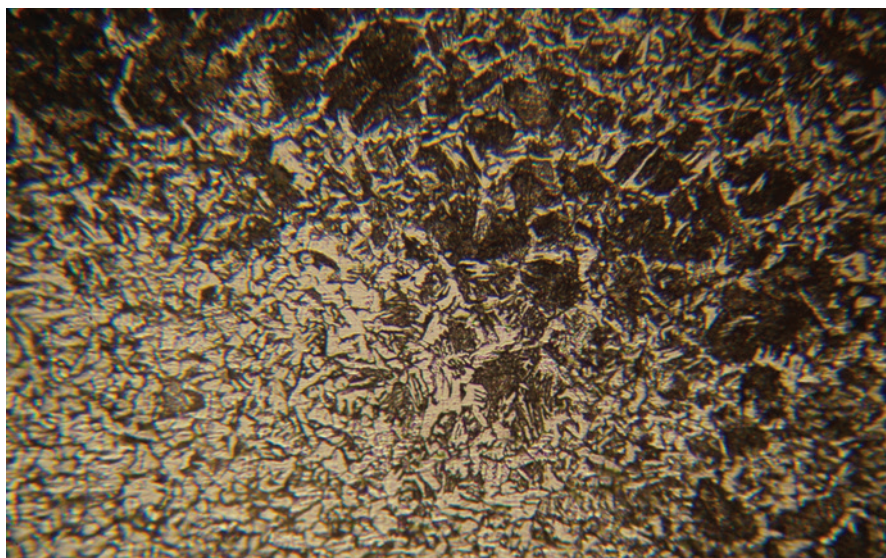


Fig. 18. Sømmet X3, metallografi, 250X forstørrelse, ætsning 2% nital. Ferrit-perlit struktur, kulstofindhold fra ca. 0,2-0,5%.

Nail X3, metallography x250, polished etched section, 2% nital. Ferritic-pearlitic structure, carbon content c. 0.2-0.5%.

I kulturlaget A233 umiddelbart vest for smedjen fandtes en ca. 20 cm lang jernstang af 5-8 mm tykkelse (X10). Stykket bærer præg af halvfabrikata med kun let tilspidsning i den ene ende. Der var tale om et overraskende homogent og rent materiale, bestående primært af en tæt struktur af ferritkorn med moderat forekomst af perlit ved korngrænserne. Kulstofindholdet var ca. 0,1-0,2%. Der observeredes enkelte amorfe slaggeinklusioner og kun få lineære, elongerede slaggeinklusioner. I enkelte af de lineære inklusioner observeredes fragmenteret fayalitslagge i en glasfase. Elongering af slaggeinklusioner og fragmentation af fayalit sker ved udsmedning/strækning af jernet i varm tilstand.⁴¹ Der var tale om jern af god kvalitet med lavt indhold af fosfor (fig. 19-20). Grundstofanalysens lave F-værdier på 2,1-4,1 peger på en oprindelse i Sverige (Skema 6).



Fig. 19. Jernstang X10, metallografi, 100X forstørrelse, ætsning 2% nital. Strukturen er ferritisk-perlitisk med et lavt kulstofindhold. Amorfe og tynde, elongerede slaggeinklusioner (100X, Nital 2%).

Metallography of iron bar X10. Polished etched section, 2% nital, x100. Ferritic-pearlitic structure with amorphous, thin, elongated slag inclusions.

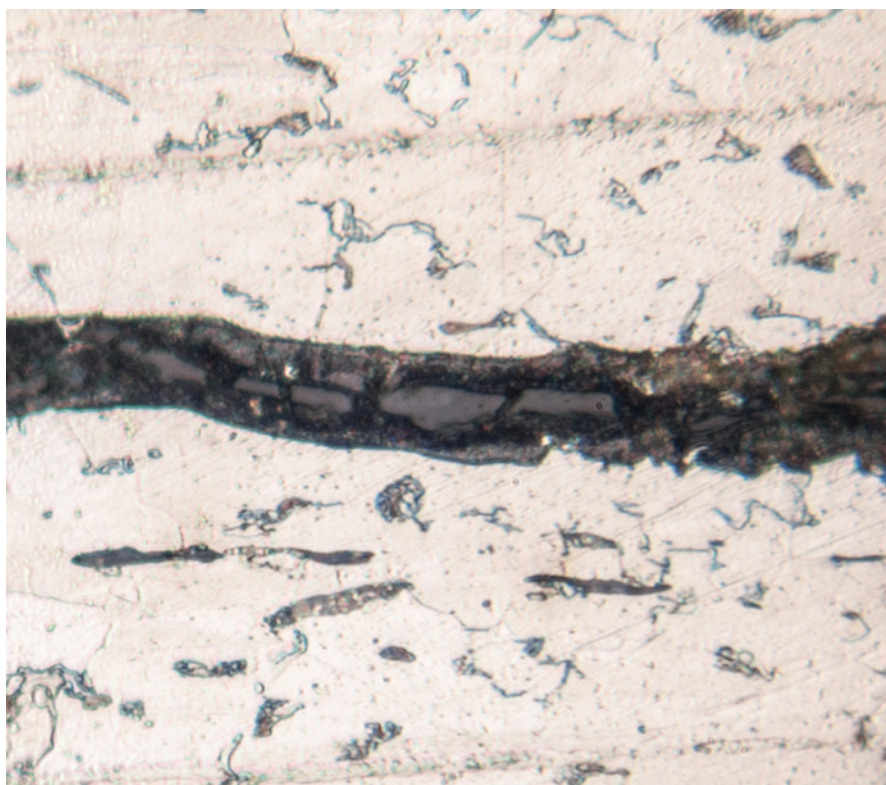


Fig. 20. Jernstang X10, metallografi, 400X forstørrelse, ætsning 2% nital. Tynd elongeret slaggeinklusion, opbrudt i fragmenter på grund af strækning/smedning.

Metallography of iron bar X10. Polished etched section, 2% nital, x400. Thin, elongated slag inclusion with splitting/displacements due to forging.

I affaldsgruben A243 vest for smedjen fandtes en bøjet jerngenstand, X20, som var ca. 6 cm på den ene langside, ca. 3 cm på den anden side. Der var formentlig tale om en del af en krampe. Strukturen var hovedsageligt perlitisk med et kulstofindhold på op mod 0,6% (fig. 21). Desuden blev der også observeret enkelte bainit-strukturer, samt interessant nok også små, elongerede/tynde inklusioner af kobber. Måske kan kobberet stamme fra valsning med kobbervalser, men dette er foreløbigt usikkert (fig. 22). Materialet er altså snarere hærdbart stål end jern og er formodentlig bratkølet ved 200-350°.42 Grundstofanalysens F-værdier på 5,4-5,6 samt det lave indhold af fosfor peger på en oprindelse i Sverige/Norge (Skema 7).

En ret godt bevaret og robust jernbarre (X44.1) fremkom ved gennemgang af slaggerne X44 fra brønden A384, der lå umiddelbart sydvest for smedjen. Barren var ca. 6 cm lang, 3 cm bred og ca. 1 cm tyk. Der blev ved udsavning

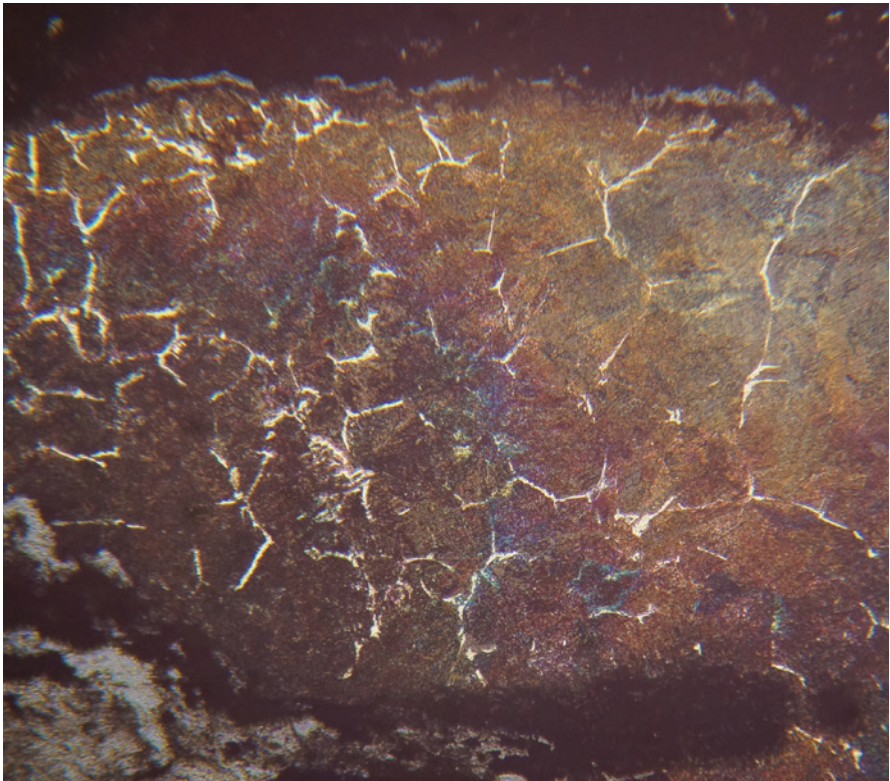
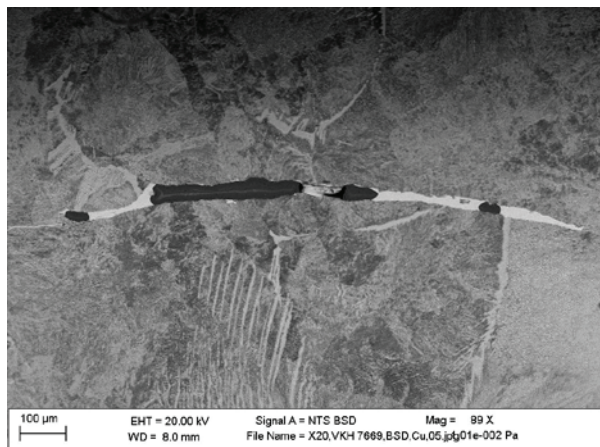


Fig. 21. Krampe X20, metallografi, 40X forstørrelse, ætsning 2% nital. Perlit struktur.
Metallography of cramp X20. Polished etched section, nital 2%, x40. Pearlite structure.

Fig. 22. Krampe X20, mikroskopi med SEM EDX, Backscatter (BSD), 89X forstørrelse. Centralt ses horisontalt en inklusion af kobber (lys stribe) i en ellers perlitisk struktur med bainit.

Cramp X20, microscopy with SEM EDX, Backscatter (BSD), x89. The light grey/dark horizontal streak is a copper and slag inclusion in an otherwise pearlitic structure with some bainite.



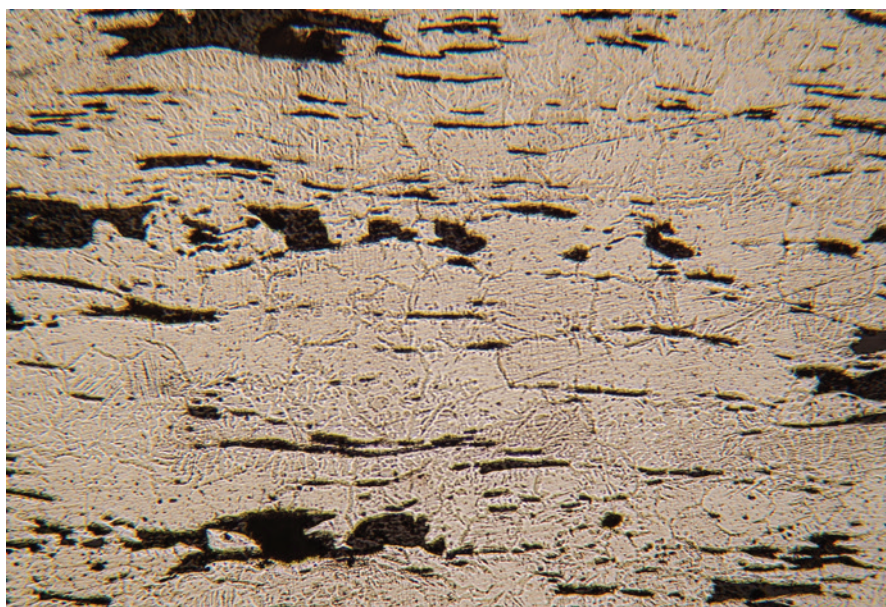


Fig. 23. Jernbarre X44.1, metallografi, 40X forstørrelse, ætsning 2% nital. Urent jern med mange slaggeindeslutninger. Ferritisk struktur med fosfor ghosts, der ses som et nærmest transparent, diffust lag i overfladen. Bemærk det meget urene og stærkt slaggeholdige jern med mange elongerede slaggeinklusioner, der aftegner sig som mørke "årer".

Metallography of iron bar X44.1. Polished etched section, nital 2%, x40. Impure iron with many slag inclusions. Ferritic structure with phosphorous ghost structures. These manifest themselves as an almost transparent and diffuse layer above the ferritic structure. Note the extremely impure iron with many elongated slag inclusions, seen as dark streaks.

i barrens længderetning udtaget en prøve på 1,5 cm længde, 1 cm bredde og 1 cm tykkelse. Allerede med det blotte øje kunne der ses en del elongerede slaggeindeslutninger. Ved metallografisk undersøgelse viste jernet sig at være meget urent. Overalt sås slaggeindeslutninger i langsgående retning. Strukturen var overordnet set ferritisk. I store dele af prøven kunne der ses mange fosfor ghost-strukturer. Disse er diffuse, nærmest transparente lag eller skygger, der ses over den ferritiske struktur (fig. 23). Enkelte dele af prøven var renere ferritisk med meget få eller ingen fosfor ghost-strukturer (fig. 24). Der er tale om et stærkt heterogent, urent, ret fosforholdigt jern.

Som halvfabrikata, fundet tæt på smedjen, var jernbarren særdeles interessant. Derfor blev der udført seks SEM EDX-grundstofanalyser på slaggeinklusioner i barren (Skema 8). Ganske som det kunne ses i den metallografiske analyse, er indholdet af fosfor (P₂O₅) meget højt. Dette sammenholdt med det lave indhold af manganoxid (MnO) kan måske med et vist forbehold pege på

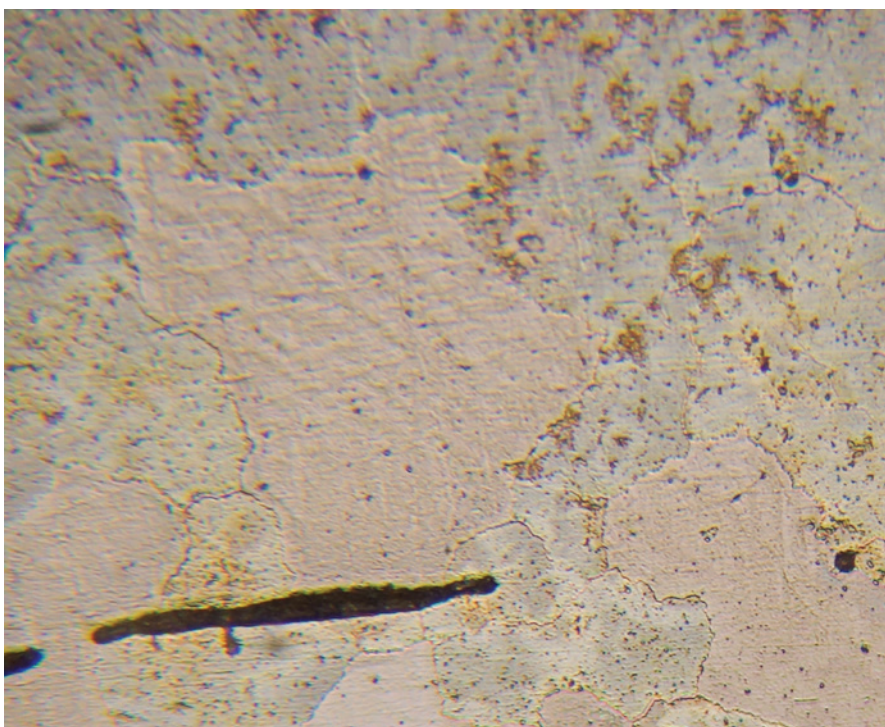


Fig. 24. Jernbarre X44.1, metallografi, 100X forstørrelse, ætsning 2% nital. Ferritisk struktur. Metallography of iron bar X44.1. Polished etched section, nital 2%, x100. Ferritic structure.

en oprindelse i det vallonske område (nuværende Belgien). Der findes nemlig ret sammenlignelige analyser af 26 jerngenstande fra det vallonske område hos Buchwald.⁴³ Her er der navnlig god overensstemmelse med hensyn til det høje indhold af fosfor (P_2O_5) samt det lave indhold af mangan (MnO). Det vallonske område producerede store mængder stangjern og søm til eksport i senmiddelalderen og renæssancen.⁴⁴

Meget interessant blev der også fundet stenkul i flere anlæg med direkte tilknytning til smedjen. Kulturlaget A233 og gruben A242, begge umiddelbart vest for smedjen A1, indeholdt begge stenkul. Et stykke, X14, fra kulturlaget A233 blev undersøgt under mikroskop for at verificere materialet og tolkningen. Der kunne observeres tydelig lagdelt struktur, hvor iblandt tydelige rester efter organisk materiale (fig. 25). Fundet må betragtes som uhyre interessant, da vi ved ganske lidt om, hvor tidligt denne importerede form for brændsel tages i brug i danske smedjer.

Der blev udtaget arkæometallurgiske fyldprøver fra stolpehullerne i smedjen A1 samt fra kulturlaget A417 (Skema 9). I prøverne var der en overbevisende

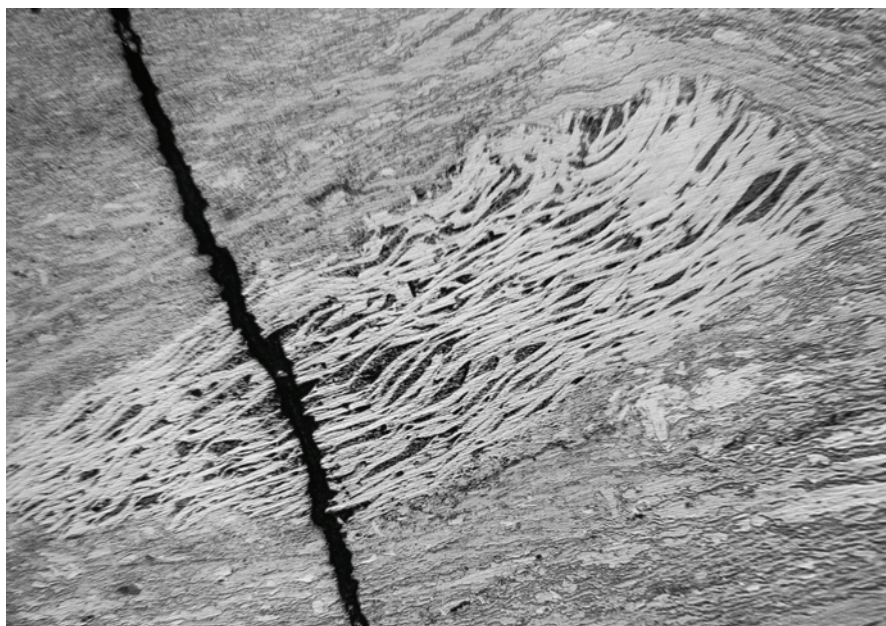


Fig. 25. Mikroskopi af stenkul X14. 100X forstørrelse.

Microscopy of mineral coal X14. x100.

mængde af magnetiske hammerskæl og sfæriske slagge- og smedekugler, altså tydelige spor på smedeaktivitet. Hovedårsagen til, at de sfæriske slagge-/smedekugler opstår, er navnlig essesvejsning, idet teknikens store varme og ekstreme pres får den oxiderende overflade på det varme jern til momentant at smelte og forme kugler, når materialet presses eller skydes ud ved svejsningen. Oparbejdning af urent myremalmsjern kræver sammensmedning, sammenlignelig med essesvejsning, ved høj varme og kan ligeledes producere slagge-/smedekugler under smedning.⁴⁵

Ganske interessant indeholdt tre af prøverne også små sfæriske lerkugler. Tilstedeværelsen af umagnetiske lerkugler i smedjer er af nogle forskere sat i forbindelse med opkulning af jern til stål, og fundet kan derfor måske vidne om tilstedeværelsen af denne smedeteknik.⁴⁶

Der blev ikke udlagt grid til prøvetagning af hele fladen, idet smedjen ikke med sikkerhed kunne siges tilnærmelsesvist at være fuldt afdækket. Det har med andre ord ikke været muligt at foretage en egentlig rumlig funktionsanalyse af bygningen. Det overbevisende høje indhold af smederelaterede affaldsprodukter sandsynliggør dog, at smedeaktiviteten er foregået netop i denne bygning. Et stolpehul, A191, som i udgravningsfasen blev set som tilhørende en anden bygning, viste sig at have et markant større indhold af hammerskæl

og smede-/svejskekugler. Det er sandsynligt, at dette kraftige stolpehul i virkeligheden er sporet efter amboltstokken.

Analyserne viste altså med al tydelighed, at bygningen har været anvendt som smedje. Der blev fundet en meget overbevisende andel af smedeskæl i samtlige fyldprøver fra smedjen. Hertil blev der i samtlige prøver fundet sfæriske smede-/slaggekugler, der sandsynliggjorde, at der i smedjen foregik essesvejsning og bearbejdning/oparbejdning af urent, førindustrielt jern. Den store mængde typiske, plankonvekse slagger, der fandtes i gruberne A232, A242 og brønden A384, understøttede ligeledes, at man i smedjen rensede og bearbejdede urent midtjysk myremalmsjern, men at man også har rådet over importeret, ret rent jern fra Skandinavien, samt urent og fosforholdigt jern, som kan være importeret fra det vallonske område.

Rumlige perspektiver

De arkæologiske undersøgelser og de rumlige tolkninger af begge smedjer er forbundet med visse problemer. Skønt smedjen i Kristinebjerg er afdækket og udgravet i sin helhed, er det problematisk, at der i udgravningsfasen blev fokuseret udelukkende på udtagning af jordprøver fra et relativt lille område, nemlig de mørke lag A13956 og A13968.⁴⁷ Med god ret kan man dog, på baggrund af selve huset GA's udstrækning og det store aktivitetslag A12073, tolke værkstedsområdet som 6x6 m, altså 36 m². Det er værd at bemærke, at smedjen har været indrettet i en større huskonstruktion, der uden tvivl har været et hovedhus på hele 27x6 m i et gårdsanlæg med tilhørende små udbygninger. At huset har været anvendt til beboelse, tyder tilstedeværelsen af ovnanlægget i husets nordvestlige side på. Huset var tydeligvis ombygget, udbedret – eller måske helt genopbygget, da flere faser kunne observeres. Det er således ikke utænkeligt, at huset slet ikke er bygget med smedeaktivitet som hovedformål, men at denne aktivitet er kommet til på et senere tidspunkt. Der er tidligere fundet eksempler på noget tilsvarende i Vorbasse, hvor en smedje fra sidste tredjedel af 1500-tallet var indrettet i østenden af et hus med en bredde på 4-5 m og en længde på ca. 20 m.⁴⁸ Gårdsanlæggets beliggenhed i forhold til den øvrige bebyggelse er tankevækkende. Gårdsanlægget med smedjen lå jo næsten isoleret fra den øvrige bebyggelse, men med adgang til egen brønd. Er smedeaktiviteten placeret netop her af hensyn til brandfare, eller er der tale om en smedje på en egen tofte?

Smedjen ved Skovhavegård i Stouby præsenterede udgraverne med det frustrerende problem, at det ikke var muligt at afdække sporene af smedjen i deres fulde udstrækning. Det vanskeliggjorde i høj grad en rumlig fortolkning, som

yderligere kompliceres af, at der tilsyneladende er spor af flere andre bygninger samme sted. Risikoen for overfortolkning er derfor stor. Det er dog sandsynligt, at smedjen har været omtrent 6,5 m bred (i nord-sydlig retning). De mørke lag, affaldsgruber og brønde umiddelbart vest og sydvest for smedjen antyder trafik fra husets vestende og ud. Formodentlig er et stolpehul, A191, placeret omtrent 2 m fra vestgavlen, spor efter ambolten, da indholdet af hammerskæl og svejsekugler var næsten dobbelt så stort som i smedjens stolpehuller. Hermed kan det med nogen usikkerhed postuleres, at der 1,5-2 m inden for en døråbning mod vest har stået en ambolt. Der har ligeledes været ca. 2 m fra ambolt til nordvæg, mens der har været omtrent 4 m fra ambolten til sydvæggen. Selvom smedjen slet ikke blev afdækket fuldt ud, kan man dog anslå, at arbejdsarealet har været mindst 18 m². I modsætning til smedjen fra Kristinebjerg kan smedjen i Stouby ikke med sikkerhed siges at have ligget isoleret, idet der blev fundet bebyggelse fra perioden 1300-1500-tallet i de umiddelbare omgivelser.

Kristinebjergsmedjens tilgængelige arbejdsareal på 36 m² falder godt i tråd med flere andre middelalderlige smedjer. Museum Sønderjylland udgravede i 2005 en smedje fra perioden 1105-1195 ved Klosterbakken. Smedjen, der var 1-skibet, ca. 9,5x4,25 m og øst-vest orienteret, lå placeret tydeligt isoleret fra den øvrige middelalderlige bebyggelse. Centralt i smedjen, der tolkedes som et stort åbent rum, var der spor efter to amboltstokke, hver med tilhørende smedeesser, der har været stolpebyggede, kasseformede konstruktioner på henholdsvis 1x0,75 m og 0,75x0,5 m.⁴⁹ Museum Sønderjylland udgravede i 2011 endnu en smedje, denne gang ved Ørsted. Smedjen dateredes til ca. 1250-1350. Den var ca. 7x5,2 m og var bygget med jordgravede stolper. Fraværet af stolper i smedjens østende sandsynliggjorde, at østgavlen måske har været åben. Essen, der lå centralt placeret nordøstligt i rummet, var stensat og formentlig i gulvniveau. Der blev også fundet rester af brændt ler fra essen her. To meter øst for essen lå en stor flad sten, omtrent 50 cm i diameter, der tolkedes som syld til en ambolt, men som dog lige så vel kan være en amboltsten. Et tydeligt trædelag eller smudslag mellem essen og stenen tyder på, at smeden har haft sin hyppigste gang netop mellem essen og stenen. I tilknytning til smedjen har der været en brønd, der lå ca. 20 m længere mod nordøst.⁵⁰ Disse smedjers arbejdsareal har altså været henholdsvis 40 og 36 m².

Et par smedjer med en senere datering synes at have haft et lidt større areal. Skanderborg Museum udgravede i 1997 sporene af en smedje fra 1400-tallet i Fruering nordøst for Skanderborg, omtrent 40 m syd for landsbyens kirke. Smedjen, ca. 11,5x5 m og øst-vest orienteret, var bygget på syldsten og har muligvis været åben i østenden. Midt i smedjens vestende, omtrent 2 m fra vestgavlen, var der et meget kraftigt stenfundament til essen. Dette var ca. 3 m

langt og 2 m bredt, og oven på stenene fandtes rester af selve smedeessen, der har været lerklinet. Ambolten har med overvejende sandsynlighed været en stor sten, der bar tydelige spor efter smedning.⁵¹ Af stort set samme dimensioner var en smedje fra 1300-1500-tallet fra Øster Skjern Birk ved Skjern. Smedjen var let sydvest-nordøst orienteret, omtrent 10,5x5 m og stolpebygget som en 1-skibet konstruktion med store stolpehuller. Ganske som i Fruering var essen placeret nær vestenden. Den var ca. 1,5x1 m og opbygget af sten og ler.⁵² Disse to smedjer har altså haft et lidt større areal, nemlig henholdsvis 57 og 50 m². Til sammenligning var den smedje fra første fjerdedel af 1000-tallet, som blev udgravet ved Viborg Søndersø i 2001, kun 5x3 m og opbygget med risflettede vægge.⁵³ Jernalderens og vikingetidens smedjer har ofte været ca. 12-15 m².⁵⁴ Noget tyder altså på, at der kan ses en udvikling mod større smedjer på 35-50 m². Dog er antallet af udgravede smedjer endnu så beskedent, at en konklusion herom foreløbig er usikker.

Materialer og processer

Den højmiddelalderlige smedje i Kristinebjerg er blevet tolket som en specialsmedje, hvor der udelukkende er foregået rensning af jernlupper. Ved den arkæometallurgiske undersøgelse fandtes ingen slagge, som var opstået ved svejsning eller almindelig smedning. Analyser af hammer- eller smedeskællene fra smedjen viste tilsyneladende også, at de næsten udelukkende stammede fra rensning. Dermed konkluderedes, at der har været tale om rensning af myremalmsjern af mere eller mindre lokal oprindelse, i hvert fald synes materialet at stamme fra Jylland øst for hovedstilstandslinjen. Der var så god en homogenitet i slaggerne, at materialet, på nær en enkelt undtagelse, synes at stamme fra samme lokalitet. Om jernet, som slaggerne stammer fra, er lokalt i snæver forstand, altså fra smedjens nærområde, må dog anses for at være usikkert. Tre middelalderlige jerngenstande fra lokaliteten blev analyseret og viste sig, ligesom slaggerne, at være fremstillet af malm nord og øst for hovedstilstandslinjen. Jernet kan dermed godt være resultatet af en lokal oparbejdning af jern. Der var altså ingen tegn på, at man har hentet jern fra Vestjylland eller fra udlandet.⁵⁵

I den sønderjyske 1100-tals-smedje fra Klosterbakken viste analyser af de mange plankonvekse slagge ligeledes, at der i høj grad er foregået rensning af myremalmsjern. Her var proveniensen ligeledes øst og nord for hovedstilstandslinjen, med en enkelt undtagelse fra det sydtyske område. I smedjen havde man dog ligeledes smedet med renere jern, idet der også fandtes tyn-dere, finere smedeskæl, og det er sandsynligt, at der er fremstillet almindelige

jerngenstande.⁵⁶ Også i den højmiddelalderlige smedje ved Ørsted blev der fundet slagger fra rensning af lokalt produceret jern, men der blev også fundet fragmenter af hestesko og søm.⁵⁷ Fra smedjerne fra senmiddelalder/renæssance i Skjern og Fruering findes ingen analyserede jordprøver, men begge steder fandtes et stort antal plankonvekse slagger, der netop stammer fra rensning af det urene, stærkt slaggeholdige myremalmsjern.⁵⁸ Til sammenligning viste analyser af slagger fra vikingetidssmedjen fra Viborg Sønderø, at der også her var rensset jern, men fra det sydtyske område.⁵⁹

Den rensning, som omtales, kan med meget stor sandsynlighed være oparbejdningen af de såkaldte jernkloder. Dette typisk middelalderlige produkt blev produceret ved, at den jernholdige svamp, kaldet luppen, blev taget op af jernudvindingsovnen, bearbejdet til en grov tyk skiveform, så jernet samledes noget. Sluttelig blev den ofte spaltet tre gange, således at kloden fremstod med fire "fingre". Kloderne blev fremstillet i stort antal i de midtjyske, jernproducerende områder i middelalderen og frem til begyndelsen af 1600-tallet, men er dog ikke udelukkende et jysk fænomen, idet der også er fremstillet kloder i Skåne og Halland. Produktet indeholdt dog stadig store mængder slagge. Så før smedning af egentlige genstande kunne finde sted, måtte jernet bearbejdes i varm tilstand, så en større del af urenhederne blev presset ud. Kloderne vejede ca. 8-12 kg. (fig. 26)⁶⁰

Teorien om rensningssmedjer, hvor man rensede lokalt produceret jern, er interessant, men også på nogle måder problematisk. Ganske vist tyder analysen fra Kristinebjerg på dette, men ved de meget omfattende fladeafdækninger i området fandtes ingen reelle spor efter jernudvinding. Hertil er der ved de omfattende undersøgelser i Kristinebjerg, hvor en massiv middelalderbebyggelse var til stede på flere lokaliteter, ikke fundet andre smedjer med spor af "almindelig" eller uspecialiseret smedning. Hvis man vælger at holde sig til den tolkning, som de naturvidenskabelige analyser antyder, må der ved Kristinebjerg-smedjen udelukkende være foregået bearbejdning af jernlupper, som måske er omformet til de middelalderlige jernkloder. Men navnlig på baggrund af smedjerne fra Klosterbakken og Ørsted, hvor rensningssmedning såvel som smedning af almindelige genstande fandt sted, må det være relevant at foreslå, om ikke rensning af urent myremalmsjern har været en helt almindelig og nødvendig del af hverdagens gøremål for smeden i middelalderen? Spørgsmålene omkring rensningssmedjer synes langt fra at kunne besvares fyldestgørende ud fra det foreliggende materiale.

Smedjen fra senmiddelalder og renæssance i Stouby viste sig at være rig på informationer om både processer og materialer. Man har rensset og smedet det urene og slaggeholdige myremalmsjern, hvilket ses af grundstofanalyserne af



Fig. 26. Jernklode i VejleMuseernes samlinger. Kloden fremstilles ved, at jernluppen tages fra udvindingsovnen, bearbejdes og spaltes i fire "fingre" kaldet klimp. Denne klode vejer godt 8 kg, længden er ca. 36 cm, bredden 20 cm og højden 8 cm. Kloden er fundet i Karup sogn, Lysgaard herrred, i det gamle Viborg amt.

Iron bloom from Karup in central Jutland. Length c. 36 cm, width 20 cm, height 8 cm. From the collections of VejleMuseerne.

slagget. Billedet understøttes af de sfæriske smede-/slaggekugler fra rensning og svejsning, som fandtes i alle prøver. Dog har man også rådet over importeret jern, og særligt interessant er som halvfabrikata de to jernstænger eller barrer. Her var den ene antageligt fra Sverige og af meget rent jern, mens den anden var meget uren og slaggeholdig og kan stamme fra det vallonske område. Man har altså ud over det hjemlige myremalmsjern også rådet over rent jern af god kvalitet, men også benyttet sig af urent og meget slaggeholdigt importeret jern.

I flere af jordprøverne fra Stouby-smedjens stolpehuller fandtes små, sfæriske og umagnetiske lerkugler i størrelsen ca. 3-6 mm. Lerkugler af denne art i arkæologiske kontekster er af flere forskere tolket som spor efter opkulning af jern til stål.⁶¹ Almindeligt blødt jern indeholder ikke kulstof nok til, at det kan hærdes til f.eks. skærende værktøj. Ved såkaldt opkulning tilføres jernet mere kulstof. Dette sker ved, at jernet pakkes i en lufttæt, ildbestandig beholder af f.eks. ler, sammen med kulstofholdigt, organisk materiale. Ved opvarmning til

ca. 900° tilføres jernet kulstof i større eller mindre grad afhængig af tidsrum. Øges indholdet af kulstof til over ca. 0,5%, omdannes det til hærdbart stål.⁶² Metoden er beskrevet ganske tidligt hos Theophilus i 1100-tallet.⁶³ Dog er de skriftlige kilder, som beretter om opkulning, meget hyppigere i renæssancen, fra 1500-tallet og frem. Her findes et utal af mere eller mindre fantasifulde opskrifter, men også flere som sagligt redegør for processen, og som tydeligvis er gengivet eller forfattet af fagpersoner.⁶⁴ Det er foreslået, at de små lerkugler stammer fra processen, hvor lerbeholderen med jernet slås i stykker, og det varme, nærmest smeltede ler sprøjter ud på smedjens gulv og dermed danner små sfæriske kugler.⁶⁵

Skønt opkulning altså omtales i litteraturen allerede fra 1100-tallet, men mere almindeligt fra renæssancen, kendes meget få arkæologiske spor efter processen i Danmark. Metoden menes at være brugt i Viborg Søndersø-smedjen, hvor netop tilstedeværelsen af små smeltede lerkugler ses som vidnesbyrd om en slags stålfremstilling, derved at mindre stålstykker fra en luppe essesvejses sammen til større stykker, ved pakning med læder og en ydre beskyttelse af ler. Ved efterfølgende opvarmning og svejsning på ambolten slås lerpakken i stykker, og små dråber smeltet ler sprøjter ud ved dette. Argumentet herfor tager udgangspunkt i en sammenligning med bevarede traditionelle, japanske smedeteknikker.⁶⁶ I forbindelse med Horsens Museums forskningsprojekt "Stålproduktion i Danmark i middelalderen" er der argumenteret for processens tilstedeværelse med henvisning til fundet af små lerkugler og fragmenter af lerbeholdere i lag fra to affaldsgruber med smedeaffald, den ene fra tidlig middelalder, ca. 1030-1115, den anden fra renæssancen, ca. 1550-1595.⁶⁷ Det synes dog stadig uklart, hvorfor smeden nødvendigvis skulle vælge at slå lerpakken eller beholderen i stykker i varm, næsten smeltende tilstand, hvis der er tale om opkulning. Det er ikke nødvendigt for opkulingsprocessen, som sker under reducerende, iltfattige forhold. Det vil tværtimod være bedre at vente til efter, en nedkøling har fundet sted, da højt opvarmet stål under oxygerende, altså iltrige forhold, faktisk afgiver kulstof. Lerbeholderne fra Horsens ser da heller ikke ud til at være blevet særlig hårdt bearbejdet. Der er for fleres vedkommende tale om større, sammenhængende fragmenter. Lerkuglerne fra Viborg Søndersø viste ved analyse at have et højere indhold af jern end almindeligt ler, så der er ingen tvivl om, at de må stamme fra en smedeteknik med berøring af opvarmet jern.⁶⁸ Tilstedeværelsen af og dannelsen af lerkuglerne synes endnu ikke at være fyldestgørende forklaret. Her kunne eksperimentelarkæologiske forsøg være overordentlig interessante til belysning af problemstillingen. Med til hele billedet hører det, at der stadig er fundet ret få arkæologiske jern- og stålgenstande, som ved analyser har vist sig med sikkerhed at være intentionelt opkullede.⁶⁹

Ikke overraskende var der en høj forekomst af trækul i næsten alle anlæg med tilknytning til smedjen i Stouby. Mere overraskende var tilstedeværelsen af stenkul i et affaldslag og en grube. Denne form for brændsel forekommer ikke naturligt i Danmark og er derfor en importvare. Den tidligste brug og import i Danmark er dog meget sparsomt belyst. Hvornår stenkul anvendes som brændsel i smedjer i udlandet er ligeledes usikkert. Dog ved vi, at stenkul anvendes til kalkbrændning, metalforarbejdning og metaludvinding i Storbritannien så tidligt som i 1200-tallet. En stigende mangel på træ anses for årsagen til, at anvendelsen og handlen med stenkul steg drastisk fra midten af 1500-tallet, og allerede i 1560 blev der udvundet ca. 227.000 tons kul i Storbritannien.⁷⁰

En tidlig skriftlig kilde, som beretter om stenkul i Danmark, finder vi i 1556, hvor det nævnes, at Sander Leyel, tolder i Helsingør, og Jørgen Vale, toldskriver sammesteds, har indkøbt salt, vin og stenkul på kong Christian 3.'s vegne til levering på Københavns Slot. I sidste halvdel af 1550'erne ses flere leverancer af samme art, alle til Københavns Slot.⁷¹ I 1560 finder vi første gang en omtale af stenkul til brug i smedjer. Kong Frederik 2. opholder sig på Øm Kloster og udbeder sig store skibsladninger af føde og drikkevarer, samt andre materialer til brug på klosteret og til kongens folk i Aarhus. I samme forbindelse nævnes det, at der til kongens smedje behøves 4 læster stenkul og 2 læster stål.⁷² Hvorfra stenkullene importeres nævnes ikke. Dog ser vi, at kongen i 1565 befaler Johan Gilesen Falckener, faktor i Amsterdam, at købe så mange stenkul som muligt til kongen, af dem han plejer at købe.⁷³ I 1577 befales Christoffer Valkendorf straks at sende 10 læster stenkul og 8 skippund stangjern og tre gode smedevende til Frederiksborg Slot.⁷⁴ Fra sidst i 1500-tallet til omkring 1640 ved vi mere om, hvorfra stenkullene blev importeret. Christian 4.'s våbenfabrikker og kanonstøberiet i Hellebæk importerede ret store mængder af stenkul. De tidlige importører fra sidst i 1500-tallet til starten af 1600-tallet er navnlig fra Nordtyskland, nemlig Danzig, Stralsund, Lübeck, Rostock, Greifswald og kun enkelte fra Newcastle. I det tidlige 1600-tal, omkring 1608-1610, ændres billedet, og herefter er det primært England: Newcastle, Leeds, Colchester, Harwich, og Ipswich. Fra ca. 1616 og frem er Newcastle næsten altdominerende.⁷⁵

Smedjen i Stouby daterer sig til perioden ca. 1486-1573, og selvom smedjen sagtens kan have fungeret et godt stykke op i 1600-tallet, som dateringen af gruben A242 tyder på, må fundet af stenkul i Stouby betegnes som et meget tidligt eksempel på anvendelse af stenkul i en almindelig landsbysmedje.⁷⁶ Der er ganske få publicerede fund af stenkul i forbindelse med renæssancesmedjer, bl.a. fra Brobyværk Våbenfabrik på Fyn. Værket, der fungerede fra 1648-1657 og havde hammer- og slibemøller til fabrikation af blank- og skydevåben, anvendte også stenkul i produktionen.⁷⁷

Konklusion

Smedjerne fra Kristinebjerg og Stouby har, skønt udgravning og prøvetagning langt fra har været ideelle, vist sig at give væsentlige resultater, der synes at tale både for sig selv, men i høj grad også, ved granskning af komparativer, supplerer vores viden om periodens landsmedjer generelt. Foreløbigt tyder alt på, at man i middelalderen har smedjer, der dels kan være bygget som egentlige værkstedsbygninger, men også nogle, som indrettes i en del af et beboelseshus. Uanset hvilken af disse, man har valgt, tyder noget på, at middelalderens smedjer er større end jernalderens og vikingetidens, nogle over 50 m².

I begge smedjer er der foregået en betydelig rensning eller oparbejdning af det urene hjemlige myremalmsjern, noget som også ses i flere andre smedjer fra perioden. At der ikke er fundet sikre spor efter jernudvinding i nærheden af smedjerne forekommer næsten karakteristisk og tankevækkende. Analyserne tyder på, at sporene stammer fra rensning af midtjyske jernkloder. Dette urene halvfabrikat må være transporteret fra det midtjyske og videre mod sydøst til lokale smedjer, hvor det er blevet smedet ud, rensat for en stor del af deres slaggeinklusioner og sluttelig endt som egentlige produkter. Det synes også klart, at de østjyske smede, i hvert fald i senmiddelalderen og renæssancen, har rådet over flere kvaliteter af jern, og at man måske har kunnet opkulle jern til stål. Ligeledes tyder noget på, at smedjen i Stouby ganske tidligt har taget den importerede brændselsform stenkul i anvendelse.

Smedjerne fra middelalder og renæssance er fortsat et relativt sjældent feltarkæologisk objekt. Smedjerne rummer, såfremt tilstrækkeligt materiale analyseres, et stort og vigtigt teknologihistorisk udsagn, også selvom bevaringsforholdene ikke er ideelle. Det må derfor være af største vigtighed, at fremtidige fund og navnlig arkæometallurgiske undersøgelser får en høj prioritering.

Appendiks, skema 1-9

Skema 1. SEM-EDX-grundstofanalyser af slaggemateriale fra Kristinebjerg-smedjens aktivitetssområde, udført af Arne Jouttijärvi, Heimdal Arkæometri. I yderste højre kolonne er indsat F-værdier (forholdet mellem Al₂O₃ og SiO₂), beregnet af denne artikels forfatter.

SEM-EDX analyses of slags from the activity layers of the smithy by Arne Jouttijärvi, Heimdal Archaeometry. The column to the right contains F-values (the Al₂O₃/SiO₂ ratio) calculated by the author.

Prøve		Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	BaO	F
x2484	1	1,2	2,1	1,4	23,0	1,3	0,4	1,6	0,1	0,7	67,7	0,0	16,4
x2487	1	1,3	0,8	3,5	19,7	3,0	1,1	3,8	0,1	7,2	58,3	0,7	5,6
x2487	2	0,8	0,8	2,8	17,5	3,4	1,0	4,4	0,1	8,8	59,5	0,7	6,25
x2487	3	1,4	1,8	3,7	28,4	2,6	1,6	2,5	0,1	0,8	56,4	0,2	7,6
x2487	4	1,5	1,5	3,0	19,8	1,7	3,4	2,8	0,1	2,4	63,4	0,1	6,6
x2524	1	1,3	1,2	4,1	20,2	1,9	2,2	3,2	0,0	0,6	65,0	0,0	4,9
x2524	2	1,8	1,2	4,1	21,4	2,0	1,7	3,5	0,1	0,5	63,2	0,1	5,21
x2524	3	1,3	1,1	1,5	13,7	4,3	0,7	2,3	0,0	0,5	73,8	0,1	5,7
x2524	4	1,8	1,1	2,4	15,8	7,6	0,5	6,0	0,0	0,5	63,6	0,0	6,5
x2526	1	1,7	0,8	1,2	10,6	2,7	0,2	2,7	0,0	0,2	79,3	0,1	8,8
x2526	2	1,1	0,8	2,1	20,7	2,5	0,9	2,4	0,0	0,4	68,9	0,0	9,8
x2526	3	1,4	1,3	3,8	28,6	2,3	2,6	5,3	0,2	3,6	50,0	0,7	7,5
x2526	4	1,7	2,0	3,9	39,6	2,3	4,4	9,5	0,2	3,9	31,6	0,7	10,1
x2532	1	0,9	1,0	3,7	20,9	3,6	0,9	3,8	0,2	1,2	63,5	0,0	5,6
x2538	1	1,7	1,5	2,0	18,5	4,7	1,1	4,2	0,0	5,7	58,8	0,8	9,25
x2538	2	0,9	1,0	1,2	10,8	2,4	1,3	3,1	0,0	2,4	76,3	0,2	9,0
x2773	1	1,7	1,0	5,9	32,1	4,9	3,3	4,2	0,3	0,9	45,2	0,2	5,4
x2773	2	1,3	1,4	3,2	25,4	2,7	1,1	2,6	0,1	2,6	59,3	0,2	7,9
x2775	1	1,3	1,1	4,0	30,8	2,6	0,8	4,1	0,1	0,4	54,5	0,1	7,7
x2775	2	3,9	1,1	5,2	32,2	2,4	1,0	9,0	0,4	2,2	42,0	0,1	6,1
x2775	3	0,8	0,7	1,4	11,6	3,9	0,6	4,0	0,0	1,7	74,8	0,1	8,2
x3080	1	2,3	2,1	4,3	31,1	2,6	2,9	6,3	0,1	0,6	47,1	0,2	7,2
x3080	2	1,0	2,0	1,8	17,8	2,0	2,0	4,6	0,0	0,5	67,9	0,1	9,8
x3080	3	1,1	1,6	3,6	24,2	3,6	2,4	7,7	0,1	3,9	51,3	0,5	6,7
x3080	4	1,4	1,1	4,1	23,5	2,7	0,7	3,7	0,1	0,4	61,5	0,1	5,7
x3080	5	1,4	0,9	1,8	19,1	1,8	1,4	2,1	0,0	0,2	70,1	0,1	10,6

Skema 2. SEM EDX-grundstofanalyser af smedeslagger fra Skovhøvedgård. Oxider i vægtprocent. SEM EDX analyses of slags from Skovhøvedgård. Oxides in wt%

Prøve	SiO2	FeO	MnO	P2O5	CaO	Al2O3	K2O	MgO	TiO2	SO3	Na2O	Wt%	F-værdi
X42.1-1	20,76	73,79	0,96	0	1,64	1,62	0,22	0,97	0	0	0	100	12,8
X42.1-2	16,75	75,10	0,84	0	3,32	2,19	1,03	0,74	0	0	0	100	7,6
X42.1-3	22,56	69,45	1,36	0	2,91	1,25	1,47	0,09	0,19	0	0,68	100	18,0
X42.2-1	21,16	63,40	3,16	0	5,61	2,16	2,03	2,07	0	0	0,38	100	9,7
X42.2-2	17,20	71,02	2,58	0	3,26	3,17	0,36	1,61	0,53	0	0,23	100	5,4
X42.2-3	18,89	74,29	1,17	0	1,68	2,36	0,17	1,41	0	0	0	100	8,0
X42.3-1	20,34	67,08	2,19	0,03	4,63	2,28	2,18	1,10	0	0	0,12	100	8,9
X42.3-2	15,43	68,57	1,54	2,07	4,99	2,74	1,91	1,90	0,32	0	0,50	100	5,6
X42.3-3	16,86	71,03	2,15	0,57	4,73	0,82	1,36	0,86	0,64	0	0,93	100	20,5
X46-1	88,52	3,82	0,72	0	2,67	1,59	1,54	0,81	0	0	0,28	100	55,67
X46-2	84,71	3,87	0,32	0	3,12	2,95	3,31	0,85	0,20	0	0,63	100	28,7
X46-3	70,42	16,13	0,21	0	4,29	3,23	4,17	0,90	0	0	0,61	100	21,8

Skema 3. SEM EDAX-grundstofanalyser, gennemsnitsværdier af 30 danske plankonvekse rensningslagger fra ca. 1000-1500. Oxider i vægtprocent, jf. Buchwald 2008, s. 138.

Average values of SEM EDAX analyses of 30 plano-convex purification slags from Denmark c. AD 1000-1500. Oxides in wt%.

SiO ₂	FeO	MnO	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	SO ₃	F-værdi
28,5	60,2	0,4	1,1	4,1	3,1	1,7	0,6	0,1	0,2	9,28

Skema 4. Gennemsnitsværdier for SEM EDX-analyser af rensningslaggerne X42.1-X42.3.

Average values of SEM EDX analyses of the purification slags X42.1-X42.3.

SiO ₂	FeO	MnO	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	SO ₃	F-værdi
18,88	70,41	1,77	0,89	4,51	2,06	1,19	1,19	0,33	0	9,16

Skema 5. SEM EDX-grundstofanalyser af slaggeinklusioner i sømmet X3. Oxider i vægtprocent.

SEM EDX analyses of slag inclusions in nail X3. Oxides in wt%.

Prøve	SiO ₂	FeO	MnO	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	SO ₃	Wt%	F-værdi
X3-1	26,07	51,54	5,02	0,05	6,07	4,44	2,6	1,57	0,44	0,06	100	5,8
X3-2	25,38	45,06	5,58	0,00	5,94	4,06	2,62	1,47	0,43	0,03	100	6,2
X3-3	20,32	26,47	3,52	0,04	4,79	3,59	1,84	1,22	0,20	0,16	100	5,6

Skema 6. SEM EDX-grundstofanalyser af slaggeinklusioner i jernstang X10. Oxider i vægtprocent.

SEM EDX analyses of slag inclusions in iron bar X10. Oxides in wt%.

Prøve	SiO ₂	FeO	MnO	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	SO ₃	Na ₂ O	Wt%	F-værdi
X10-1	30,68	21,52	0,25	1,29	20,61	14,44	2,08	6,21	1,36	0,10	1,40	100	2,1
X10-2	48,34	11,26	0,40	0,09	16,33	11,57	4,25	4,28	1,03	0,10	2,30	100	4,1
X10-3	34,84	37,12	0,40	0,19	10,11	9,31	1,66	3,93	0,84	0,00	1,57	100	3,7

Skema 7. SEM EDX-grundstofanalyser af slaggeinklusioner i X20. Oxider i vægtprocent.

SEM EDX analyses of slag inclusions in X20. Oxides in wt%.

Prøve	SiO ₂	FeO	MnO	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	SO ₃	Na ₂ O	Wt%	F-værdi
X20-1	47,22	32,23	0,39	0,08	4,53	8,29	1,89	3,35	0,50	0,18	1,29	100	5,6
X20-2	40,30	39,36	0,93	0,07	5,20	7,26	1,50	3,32	0,06	0,17	1,68	100	5,5
X20-3	37,91	44,53	0,18	0,00	4,21	6,93	1,60	2,65	0,21	0,01	1,71	100	5,4

Skema 8. SEM EDX-analyser af slaggeinklusioner i jernbarre X44.1. Oxider i vægtprocent.

SEM EDX analyses of slag inclusions in iron bar X44.1. Oxides in wt%.

Prøve	SiO ₂	FeO	MnO	P ₂ O ₅	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	SO ₃	Na ₂ O	Wt%	F-værdi
X44.1-1	25,62	48,40	0,82	13,63	3,35	3,73	1,11	0,57	0,37	1,79	0,54	100	6,8
X44.1-2	25,87	58,34	0,85	4,14	2,83	3,51	1,63	0,60	0,29	1,52	0,41	100	7,3
X44.1-3	26,23	55,51	1,01	4,65	3,17	4,45	1,82	0,61	0,32	1,74	0,43	100	5,8
X44.1-4	25,67	56,85	0,69	5,04	3,48	4,77	1,98	0,63	0,35	0	0,42	100	5,3
X44.1-5	25,77	54,22	0,79	5,61	3,43	4,82	2,12	0,56	0,14	2,08	0,39	100	5,3
X44.1-6	25,71	56,96	0,86	4,36	2,97	4,16	1,98	0,78	0,30	1,45	0,42	100	6,1
Gns.	25,81	55,04	0,83	6,23	3,20	4,24	1,77	0,62	0,29	1,71	0,43		6,1

Skema 9. Fyldprøver fra anlæg i smedje A1, procentuel fordeling.

Results of analyses of soil samples from smithy A1.

Anlæg	Magnetisk materiale	Slagge	Jern	Lerkugler
A191	47,07%	4,09%	0%	0%
A183	27,10%	6,52%	2,82%	0,33%
A197	22,09%	22,25%	1,93%	0,09%
A193	21,16%	5,54%	3,6%	0,31%
A417	11,03%	9,5%	2,06%	0%
A180	1,81%	0%	0%	0%

NOTER

1. Thomsen 1975; Lyngstrøm 2008; Lyngstrøm 2010.
2. Sindbæk 2013.
3. Iversen et al. 2005.
4. Nørbach 2003.
5. Voss 1995; Jensen 1999; Magnusson 1995; Englund 1995; 2002; Andersson 2004.
6. Buchwald 1991; Buchwald 2008.
7. Jouttijärvi 2009.
8. Jouttijärvi 2010.
9. Lyngstrøm 2010, s. 123-136.
10. Egeberg Hansen 1987; Lützau Pedersen 2006; Poulsen-Hansen 2008 og 2010; Hartvig 2012a.
11. Pagh 2011. Arbejdet er i skrivende stund under udgivelse.
12. Scott 1991, 2013; Greaves & Wrighton 1967; Modin & Modin 1973.
13. Sperl 1980; Bachmann 1982; Hauptmann 2014.
14. Jouttijärvi 2020.
15. Dungworth & Wilkes 2007; Dungworth & Wilkes 2009.
16. Bayley et al 2015, s. 35-36; Jouttijärvi 2009; Lyngstrøm 2010, s. 123-136.
17. Buchwald & Wivel 1998; Buchwald 2008, s. 546.
18. Birch et al 2014; Buchwald 2008, s. 546-549.
19. Buchwald 2008, passim.
20. Buchwald 2008, passim.
21. Jouttijärvi 2020, s. 338-341.
22. Bjerregård & Iversen 2013.
23. Bjerregård & Iversen 2013.
24. Smedeskæl er små flager oxideret og forbrændt jernmateriale, som dannes ved opvarmning af jern og stål til glødevarme. Flagerne slås af jernet ved bearbejdning på ambolten og lander på gulvet i smedjen.
25. Den arkæometallurgiske undersøgelse blev udført af Arne Jouttijärvi, Heimdal-archaeometry, Jouttijärvi 2011.
26. Jouttijärvi 2011.
27. Lupper, jernlupper eller luppejern er udtryk for den rå og ubearbejdede og stærkt slaggeholdige jernklump, som tages op af jernudvindingsovnen. Dette jern må nødvendigvis oparbejdes eller renses ved gentagen smedning og sammensvejsning, før det reelt kan anvendes til smedning af jerngenstande.

28. Buchwald 2008, s. 122, tabel 4.3.
29. Hansen 2018.
30. Callesen 2012. Den østlige lokalitet er udgravet af Horsens Museum.
31. A180 er dateret med størst sandsynlighed til 1486-1524, A193 er dateret til 1521-1573, og A183 er dateret til 1782-1798. Sidstnævnte datering stikker dog meget ud og må antagelig stamme fra en forstyrrelse. Dateringerne må tolkes varsomt, idet dateringerne er foretaget på trækul, og prøverne dermed kan have en betydelig egenalder. Det er samtidig et relevant, men ubesvaret spørgsmål, om smedjen jævnfør den yngste 14C AMS-datering har fungeret helt frem til slutningen af 1700-tallet?
32. Hansen 2018.
33. Hansen 2020.
34. Buchwald 2008, passim.
35. Sperl 1980; Bachmann 1982.
36. Buchwald 2008, passim. SEM EDX analyser i skema 2, samt 5-8 er udført i samarbejde med ingeniør Maryam Alizadeh Zolbin, Ingeniørhøjskolen, Aarhus.
37. Buchwald 2008, s. 138.
38. Buchwald 2008, s. 143.
39. Buchwald 2008, s. 137-138, tabel 4.10, analyse 2.
40. Buchwald 2008, s. 366.
41. Buchwald 2008, s. 14-15, fig. 7 og 9.
42. Scott 1991, s. 137.
43. Buchwald 2008, s. 289, tabel 8.8.
44. Buchwald 2008, s. 264-302.
45. Bayley, J., D. Dungworth & S. Paynter 2015, s. 35-36; Dungworth & Wilkes 2009.
46. Pagh 2011.
47. Udgraverne har muligvis senere erkendt, at dette net var for lille, da kun en enkelt prøve centralt fra anlæggene er analyseret.
48. Jouttijärvi 2010, s. 146. Smedjen er efterfølgende 14C AMS-dateret til 1570-1595, jf. Pagh 2011.
49. Pedersen 2006. Smedjen er efterfølgende 14C AMS-dateret, jf. Pagh 2011.
50. Hartvig 2012a; Hartvig 2012b. Smedjen er keramisk dateret.
51. Hahn-Thomsen 1997. En meget stor sten med tydelige spor efter hamring og jern blev bortgravet af gravemaskinen, men placeringen blev efterfølgende rekonstrueret.
52. Egeberg Hansen, 1987. Smedjen er dateret keramisk. Keramikken hører til i 1300-1500-årene, men noget af den er også senere.
53. Iversen 2005 passim; Jouttijärvi 2010, s. 142.
54. Jouttijärvi 2010, s. 139-144.
55. Jouttijärvi 2011.
56. Pedersen 2006, s. 165.
57. Hartvig 2012a; Hartvig 2012b.
58. Egeberg Hansen 1987; Hahn-Thomsen 1997.
59. Jouttijärvi, Thomsen og Moltsen 2005, s. 297-320.
60. Buchwald 1991; Buchwald 2008, s. 60 samt s. 113-120.
61. Pagh 2011; Jouttijärvi & Møller Andersen 2005, s. 320-362.

62. Buchwald 2008, s. 462-468.
63. Hawthorne & Smith 1979, s. 93-94.
64. Hansen (in print).
65. Jouttijärvi, Thomsen & Moltsen 2005, s. 297-320. Pagh 2011.
66. Jouttijärvi, Thomsen & Moltsen 2005, s. 297-320; Jouttijärvi & Andersen 2005, s. 322-365.
67. Pagh 2011. De to – i øvrigt meget interessante – affaldsgruber fra henholdsvis Tyrsted og Lund ved Horsens er i projektet tolket som smedjer. Tolkningen er dog usikker, da der ved begge er fravær af stolpehuller eller syld. Begge synes at være dybe nedgravninger eller affaldsgruber uden reelle gulvlag eller et identificeret ildsted, men med masser af smederelateret affald.
68. Jouttijärvi & Møller Andersen 2005.
69. Hos Buchwald 2008, s. 467-468 gøres der opmærksom på den problematik, at flere forskere har overfortolket på fortidige jerngenstandes meget heterogene indhold af kulstof. En smedeesse har desuden både reducerende og oxygenende zoner. Opvarmning af en jerngenstand i essensreducerende zone kan derfor forårsage en tynd opkulning, Buchwald 1994, s. 23.
70. Galloway 1882, s. 10-22; Allen 2009, s. 81. Energihistoriker, dr.phil. Mogens Rüdiger, takkes for god faglig sparring.
71. Kancelliets Brevbøger 1556-1560, s. 53, 59 og 157.
72. Kancelliets Brevbøger 1556-1560, s. 459.
73. Kancelliets Brevbøger 1561-1565, s. 626.
74. Kancelliets Brevbøger 1576-1579, s. 208.
75. Hvass og Bill-Jessen 2011, s. 106-108, samt s. 389-408.
76. Gruben er dateret ved tre noget forskellige ¹⁴C AMS-dateringer: 1415-1435, 1474-1521 samt 1648-1664.
77. Hansen 2012.

LITTERATUR

- Allen, R.C. 2009: *The British Industrial Revolution in Global Perspective*. Cambridge.
- Andersson, H. 2004: Jernmøllen i Halland. Arkæologiske undersøgelser 1993-1995. *hikuin* 31, s. XX-XX.
- Bachmann, H. 1982: *The Identification of Slags from Archaeological Sites*. London.
- Bayley, J., D. Dungworth & S. Paynter 2015: *Archaeometallurgy. Guidelines for best practice*. London.
- Birch, T. et al. 2014: The Cargo. In: G. Milne & D. Sully (eds.): *The Gresham Ship Project. A 16th-Century Merchantman Wrecked in the Princes Channel, Thames Estuary*. Volume II, Contents and Context. Oxford, s. 53-70.
- Bjerrgård, M.M. & R. Iversen. 2013: *Samlet beretning for VKH7087 Kristinebjerg Øst*. Upubl. rapport.
- Bricka, C.F. m.fl. 1885-2005: *Kancelliets brevbøger vedrørende Danmarks indre forhold i uddrag (1551-1660)*. Udgivet af Rigsarkivet 1885-2005. København.
- Buchwald, V.F. 1991: Jernfremstilling i Danmark i middelalderen – lidt om bondeovne og kloder. *Aarbøger for nordisk Oldkyndighed og Historie*, s. 265-286.
- Buchwald, V.F. 1994: Smedejern, Essesvejsning og Slaggekarakterisering. *Særtryk fra*

- Dansk Metallurgisk Selskabs vintermøde*. Institutet for Metallære, Danmarks Tekniske Universitet. København.
- Buchwald, V.F. 2008: *Iron, steel and cast iron before Bessemer*. København.
- Buchwald, V.F. & H. Wivel 1998: Slag analysis as a method for the characterization and provenancing of ancient iron objects. *Metals Characterization* 40, s. 73-96.
- Callesen, F. 2012: *HOM2763, Skovhavegård, Stouby by etape 1 område 1 og område 2a*. *Udgravningsberetning*. Upubl. Rapport, Museum Horsens.
- Dungworth D. & R. Wilkes 2007: An investigation of hammerscale. *Research Department report series*, 26. English Heritage. London.
- Dungworth, D. & R. Wilkes 2009: Understanding hammerscale: the use of high-speed film and electron microscopy. *Historical Metallurgy* 43, s. 33-44.
- Egeberg Hansen, T. 1987: Tomten af en middelalderlig smedje ved Skjern. *Meta*, 1-2, s. 58-64.
- Englund, L.E. 1995: Skånska och hallandska medeltida blästor. I: Sven-Olof Olsson (red.): *Medeltida danskt järn*. Halmstad, s. 79-92.
- Galloway, R.L. 1882: *A History of Coal Mining In Great Britain*. London.
- Greaves, R.H. & H. Wrighton 1967: *Practical Microscopical Metallography*. London.
- Hahn-Thomsen, M. 1997: *SBM 719 Beretning. Udgravning af middelalderlig smedje*. Upubl. rapport, Skanderborg Museum.
- Hansen, E.K. in print: Smedens materialer i to skriftlige kilder fra 15- og 1600-tallet. I: Xenia Pauli Jensen (red.): *Smedens Rum 2-3*. Højbjerg.
- Hansen, E.K. 2012: Brobyværk Våbenfabrik – Teknologi, fremstillingsprocesser og effektivitet i 1600-tallets danske våbenproduktion. I: Henriette Lyngstrøm (red.): *Smedens Rum 4*. København, s. 41-54.
- Hansen, E.K. 2018: *VKH7669 Skovhavegård. Udgravningsberetning for udgravning af landbebyggelse og smedje fra middelalder og renaissance*. Upubl. Rapport, VejleMuseerne.
- Hansen, E.K. 2020: *VKH7669 Skovhavegård. Arkæometallurgisk undersøgelse af smedje fra senmiddelalder-renaissance*. Upubl. Rapport, VejleMuseerne.
- Hartvig, A. 2012a: *HAM5121. Kragelund*. Upubl. Arkæologisk rapport, Museum Sønderjylland.
- Hartvig, A. 2012b: *Kragelund: en middelalderlig smedje ved Ørsted*. I: L.H. Lutz og A.B. Sørensen (red.): *Med graveske gennem Sønderjylland: arkæologi på naturgas- og motorvejstrace*. Haderslev.
- Hawthorne, J.G. & C.S. Smith 1979: *On Divers Arts*. Chicago.
- Hvass, L. & T. Bill-Jessen 2011: *Christian 4. som kanonstøber*. Helsingør.
- Iversen, M., D.E. Robinson, J. Hjermand og C. Christensen (red.) 2005: *Viborg Sønderø. Arkæologi og naturvidenskab i et værkstedsområde fra Vikingetid*. Højbjerg.
- Jensen, P.H. 1999: *Klimp og kloder. Jern i middelalderens Danmark*. Blicheregnens Museum.
- Jouttijärvi, A. & L.M. Andersen 2005: Affald fra metalbearbejdning. I: M. Iversen, D.E. Robinson, J. Hjermand og C. Christensen (red.): *Viborg Sønderø. Arkæologi og naturvidenskab i et værkstedsområde fra Vikingetid*. Højbjerg, s. 322-365.
- Jouttijärvi, A., T. Thomsen & A. Moltsen 2005: Værkstedets funktion. I: M. Iversen, D.E. Robinson, J. Hjermand og C. Christensen (red.): *Viborg Sønderø. Arkæologi og naturvidenskab i et værkstedsområde fra Vikingetid*. Højbjerg, s. 283-305.
- Jouttijärvi, A. 2009: The Shadow in the Smithy. *Materials and Manufacturing processes*, 24, s. 975-980.

- Jouttijärvi, A. 2010: Smedens bygninger. En række rum fra jernalderen til 1700-tallet. I: Henriette Lyngstrøm (red.): *Smedens Rum 4*. København, s. 137-152.
- Jouttijärvi, A. 2011: *VKH7087-4 rapport*. Upubl. Rapport, Heimdal Archaeometry.
- Jouttijärvi, A. 2020: Metallurgiske undersøgelser. I: C.L. Rødsrud & A. Mjærum (red.): *Ingen vei utenom: Arkeologiske undersøkelser i forbindelse med etablering av ny rv. 3/25 i Løten og Elverum kommuner*, Innlandet. Oslo, s. 331-343.
- Lyngstrøm, H.S. 2008: *Dansk jern: – en kulturhistorisk analyse af fremstilling, fordeling og forbrug*. København.
- Lyngstrøm, H.S. 2010: Mellem esse og ambolt – dynamiske processer fanget i et eksperimentel-arkæologisk kildemateriale. I: H. Lyngstrøm (red.): *Smedens rum 1*. København, s. 123-135.
- Lützu Petersen, S. 2006: En sønderjysk landsmedje fra 1200-tallet. *Arkæologi i Slesvig/Archäologie in Schleswig* 11, s. 159-166.
- Magnusson, G. 1995: Järnmöllan i Tvååker, en teknisk innovation i Danmarks bergslag? I: Sven-Olof Olsson (red.): *Medeltida dansk järn*. Halmstad.
- Modin, H. & S. Modin 1973: *Metallurgical Microscopy*. London.
- Nørbach, L.S. 2003: A short survey of Danish iron research. *Acta Jutlandica*, s. 67-70.
- Pagh, L. 2011: *Stålproduktion i Danmark i middelalderen – og sammenhængen med den typologiske udvikling i danske middelaldersmedjers former og funktioner 1000-1550*. Upubl. forskningsrapport, Horsens Museum.
- Poulsen-Hansen, K. 2008: To smedjer i Guldager, Esbjerg. *By, Mark og Geest* vol. 20, s. 27-37.
- Poulsen-Hansen, K. 2010: Et forsøg på forståelse af smedjerne fra Guldagers opbygning. I: H. Lyngstrøm (red.): *Smedens Rum 1*. København, s. 59-68.
- Scott, D.A. 1991: *Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals*. Oxford.
- Scott, D.A. 2013: *Ancient Metals: Microstructure and Metallurgy. Vol. IV: Iron and Steel*. Truckee.
- Sindbæk, S.M. 2013: Crafting networks in Viking Towns. *Medieval and Modern Matters*, vol. 4, s. 119-132.
- Sperl, G. 1980: Über die Typologie urzeitlicher, frühgeschichtlicher und mittelalterlicher Eisenhüttenschlacken. *Studien zur Industrie-Archäologie*, 7. Wien.
- Thomsen, R. 1975: *Et meget mærkeligt metal*. Varde.
- Thomsen, T. 2005: Værkstedet – en bygningsarkæologisk redegørelse. I: M. Iversen, D.E. Robinson, J. Hjeremind og C. Christensen (red.): *Viborg Sønderø. Arkæologi og naturvidenskab i et værkstedsområde fra Vikingetid*. Højbjerg, s. 271-296.
- Voss, O. 1995: Arkæologiske spor efter middelalderens jernudvinding i det nuværende Danmark. I: S. Olsson (red.): *Medeltida dansk järn*. Halmstad.

Archaeological and archaeometallurgical investigations of two smithies in eastern Jutland – one Medieval, the other Early Modern

Recent excavations undertaken by Vejle-Museerne have revealed remains of two smithies, one Medieval and the other Early Modern. Although the state of preservation, finds circumstances and methods of excavation were different and, in some ways, less than ideal, it proved possible to gain important and significant information from both.

A farmhouse with two small outhouses was found adjacent to a substantial Medieval settlement at Kristinebjerg Øst, located southwest of Fredericia, between Taulov and Erritsø. The farm's main house, which measured c. 26 x 6 m and was dated to c. AD 1250-1350, appeared to be located separately from the main settlement. The building contained clear traces of a smithy in its eastern part, and the working space was estimated to have been about 6 x 6 m. Numerous plano-convex pieces of slag were found, together with some iron objects. SEM analysis of the slag suggests that they represent the primary smithing of local iron blooms, and the smithy has even been interpreted as a specialist forge with the sole function of refining impure domestic iron. No iron bloomery slags or furnaces were, however, found adjacent to the smithy or within the entire excavation area. The term "local iron" must therefore be viewed in a larger perspective, i.e. derived from the northern and eastern parts of Jutland. (figs. 1-4)

Traces of Medieval and Early Modern houses, two wells, some refuse pits and refuse layers were found in the village of Stouby, between Vejle and Juelsminde.

Remains of a smithy were found, although the excavation was limited by an existing paved path, and it was therefore not possible to uncover the entire building. The smithy was ¹⁴C (AMS) dated to AD 1486-1573, while an adjacent refuse pit, A242, gave three rather different dates, namely AD 1415-1435, 1474-1521 and 1648-1664. The postholes of the smithy, A1, contained a large amount of hammerscale, both flat and spheroidal. Refuse pits, refuse layers and a well adjacent to the smithy contained a large number of plano-convex pieces of slag, as well as a smaller quantity of iron bars and debris. The content of soil samples from postholes and a refuse layer in the smithy, together with SEM EDX analysis of the slag, showed that refining of domestic iron, presumably from Jutland, had taken place, as well as hammer welding. Iron bars and nails ranged vastly in quality, from phosphorous-rich impure iron to iron of a better quality containing 0.1-0.2% carbon. None of the analysed pieces of iron were of domestic origin. They were mostly from Sweden or Norway, but a single iron bar may have originated from the Waloon area (Belgium). Mineral coal was also unexpectedly found in a refuse pit, A242, directly adjacent to the smithy. Coal is, by its very nature, an import in Denmark, and early archaeological evidence and mentions of it in the written sources are scarce in the 16th century. The Crown appears to have been ordering coal for use in the royal smithies by the late 1560s, and vast, regular imports from Germany and Britain are evident

from the late 16th century onwards. The coal recovered from a refuse pit dated to the late 15th or early 16th century must therefore be considered quite an early find. The somewhat uncertain dating of the refuse pit could, however, render the find less significant (figs. 5-25).

Excavations of Medieval and Early Modern smithies are quite rare occurrences in Denmark, but the preliminary results appear to suggest a tendency towards larger smithies, relative to those of the Iron Age and Viking Age. The data are, however, still too scant to enable secure validation of this theory.

What the data do seem to confirm is that, from the 12th to the late 16th century, refining of impure, domestic iron

blooms has been undertaken as one of the everyday tasks of a blacksmith, even if some almost pure, imported iron bars were also available. It has even been suggested that there is evidence of superficial carburisation or even case carburisation, but this must presently be viewed with scepticism.

The investigations of the two smithies seem to prove that valid data and important information on the blacksmith's craft can be gathered, even when the circumstances are far from ideal. If sufficient archaeometallurgical analyses are undertaken, smithies seem almost invariably to yield significant knowledge on the history of technology.

Esbén Klinker Hansen
VejleMuseerne