

## Bilaga 7. Metallurgi och material från smältugn

Av Lena Grandin, Svante Forenius och Eva Hjärthner-Holdar, SHMM, Arkeologiska uppdragsverksamheten

Även utgiven som Riksantikvarieämbetet, UV GAL RAPPORT 2014:16



F568. Metallsmälta av brons från klockgjutning som stelnat mot en plan begränsningsyta.

### Sammanfattning

Geoarkeologiskt Laboratorium (GAL) vid UV Mitt i Uppsala har registrerat och analyserat material från en arkeologisk undersökning av en klockgjutningsplats, RAÄ 730 i Botkyrka socken Södermanland. På platsen fanns resterna av en gjutgrop för gjutning av kyrkklocka och såväl material från gjutform som metallrester har tillvaratagits, liksom tegel från smältugnen. Ingen ugn för smältning av metallen påträffades dock.

Undersökningen visade att smältugnen varit uppbyggd av tegel. Okulärt finns inga tecken på omfodring som direkt skulle innebära att ugnen använts flera gånger, något som möjligen mer detaljerade keramiska analyser kan besvara. Ytterligare detaljer avslöjade att den sida av teglet som varit vänd in mot ugnskammaren har blivit sekundärbränd i olika utsträckning. På flera bitar har teglet smält, ytan deformerats och det går inte att se övergången mellan tegel och ugnsinfodring, dvs. teglet har smält samman med ugnens infodring. Ugnsbbyggarna tycks ha använt ett likartat eller möjligen samma material för infodring som för fogarna mellan tegelstenarna.

I materialet fanns också rännformat tegel som hypotetiskt skulle kunna höra till tillförselkanalen mellan ugn och gjutform. Det finns dock inget påsmält material eller andra tecken på att teglet skulle ha använts för detta ändamål. Teglet är taktegel av munk- och nunnetyp. Det troligaste är att detta tegel härrör från ett tak, antingen över gjutplatsen eller från någon närliggande byggnad.

Såväl större smältor som mindre droppar, insmälta i ugnsväggen och tunna flisor på en gjutgodsvägg har analyserats och alla är bronser. De flesta är homogena i sin sammansättning med en typisk gjuttextur och en total tennhalt i storleksordningen 20 % och lite bly som är karaktäristisk för klockbronser. Även om det finns en del variationer (–25 %) i legeringen finns inga belägg för att även andra produkter skulle ha gjutits.

Som förväntat har den nuvarande klockan i kyrkan samma tennhalt i bronzen. Men, viktigare är att den likt gjutspillet är fri från spårämnen och kommer från en tämligen ren kopparmalm. Avsaknaden av spårämnen, som skulle kunna utgöra signifikanta fingeravtryck, försvårar därför tolkningen om att det rör sig om samma råvara. Möjligheten kvarstår dock.

## Abstract

Casting debris, bricks from a smelting furnace and trough-shaped ceramic material that might have been part of the casting features from a bell casting site in Botkyrka parish, Södermanland has been studied and analysed. The material was recovered from an archaeological excavation of a casting pit for a mould used for producing bells. However, no smelting furnace could be found at the site.

The results from the study suggest that the furnace was mainly constructed by bricks. From the inspection no evidence for re-lining that would indicate repeated use of the furnace can be found. However, such data may be detected in more detailed ceramic analyses. Furthermore, the bricks, on the side facing inwards the furnace, were secondary affected by the elevated temperatures to different degrees. Some of the bricks were partially molten and also so extensively deformed that the bricks and the lining could no longer be separated.

The fragments of trough-shaped ceramic material that initially were suggested for being part of a trough connecting the furnace with the mould are most probably all of them monk and nun roof tiles. These are suggested to be part of a roof, possibly covering the casting area or from a nearby building.

The metallic debris from the site mainly comprises casting waste. Among these are larger irregular melts as well as smaller droplets entrapped in the furnace wall. A few mould fragments with thin films of alloy were also included in the chemical analyses. All of analysed samples were found to be bronzes with typical casting texture. The analysis demonstrate the consistent use of a copper alloy with 20 (-25) % tin and some lead (<1.5 %) which is the typical bell composition.

A small sample from the current bell in the church was also analysed and, as expected, found to be of the same type of alloy. In addition, in accordance with the casting waste, it is low in impurities (trace elements), suggesting the use of a comparatively impurity-free copper ore. But, the lack of trace elements that potentially may be significant to provenance the ore(s), enhances those possibilities. For such interpretations, lead isotope analyses are suggested.

## Inledning

Geoarkeologiskt Laboratorium (GAL) vid UV Mitt i Uppsala har på uppdrag av John Hamilton vid UV Mitt i Hägersten registrerat och analyserat material från en arkeologisk undersökning av en klockgjutningsplats, RAÄ 730 i Botkyrka socken Södermanland. Resterna av en gjutgrop för gjutning av kyrkklocka har undersökts och såväl material från gjutform som metallrester har tillvaratagits. Ingen ugn för smältning av metallen påträffades dock. Däremot tillvaratogs material i form av ugnsväggar och metallrester som eventuellt kan relateras till ugnen, samt rännformat tegel som hypotetiskt skulle kunna höra till tillförselkanalen mellan ugn och gjutform. I GALs uppdrag ingår att registrera detta material från undersökningen för att se om det är möjligt att få en överblick över hur ugnen varit konstruerad och hur den använts. Är det möjligt att utifrån en okulär granskning bedöma om ugnen använts flera gånger? Finns spår av ombyggnader, misslyckanden i processen m.m.? Materialet från gjutgropen ingår dock inte i denna undersökning utan studeras av uppdragsgivaren i samarbete med Stilborg Keramikanalys (SKEA). I GALs uppdrag ingår även kemiska analyser av metallsmältor från olika kontexter. Analyserna genomförs för att se om det enbart är klockor som har gjutits eller om andra typer av föremål också har tillverkats. Med utgångspunkt i analysresultaten kan det också vara möjligt att se om flera olika gjutningar med olika råvaror har ägt rum eller om materialet är enhetligt. En jämförelse görs också med provmaterial från den nuvarande mellanklockan i Botkyrka kyrka som enligt uppgifter från uppdragsgivaren donerades till kyrkan under 1600-talet men som sedan har blivit omgjuten flera gånger, senast under 1950-talet. En hypotes är följaktligen att även om klockan är av senare datum än klockgjutningsgropen kan samma legering ha smälts om.

## Undersökningens förutsättningar

Klockor förväntas ha en standardiserad metallammansättning, dvs. proportionen mellan klockbronsens tenn och koppar förväntas variera endast inom begränsade ramar för att klockan ska få rätt klang. För att ta reda på om även annat har gjutits på platsen kan metallspill analyseras för att se om även andra (lägre) tennhalter, i kombination med högre halter av andra ämnen t.ex. bly, som förväntas i andra typer av föremål förekommer i avfallet.

Genom mer detaljerade analyser av spårämnen, dvs. ämnen som förekommer i låga halter, är det möjligt att se skillnader i proportionerna mellan dessa för att kunna jämföra metallspill med potentiella klockor som gjutits på platsen. Spårämnena, som vanligen inte påverkar vare sig gjutegenskaper eller klockornas funktion nämnvärt, varierar mellan olika malmtyper (kopparmalm) Därför är det också möjligt att avgöra om flera malmtyper har använts som råvara i gjutningen.

## Gjutning – materialsammansättning och funktion

Kopparlegeringar har hanvänts för att gjuta såväl grytor som kyrkklockor. Kopparlegeringar kan blandas i olika proportioner för att få olika egenskaper såväl vid gjutningen som i den färdiga produkten. Vanligen talar man om brons, som är en blandning av koppar och tenn. Till klockor har man i regel använt sig av en större andel tenn än till kanoner och mindre föremål (Rinman 1789). Enligt Rinman (1789) handlar det om ett förhållande på 1 till 5, något som bl.a. Forshell (1992, 2003) har visat gäller för flera klockor från Norden. Analyser av ett brittiskt material bestående av såväl klockor som metallavfall från klockgjutning demonstrerar också detta (Dungworth & Nicholas 2004). Det innebär en förväntad tennhalt av storleksordningen 20 %. Trots denna funktionsskillnad har kyrkklockor samlats in för att användas till kanonframställning. Genom att kemiskt analysera gjutspill är det möjligt att se om det finns en enhetlighet inom tillverkningen eller om flera olika föremålstyper har producerats.

### Gjutning av kyrkklockor

Föremål som t.ex. grytor göts i städerna redan under medeltid medan klockor vanligen göts i kyrkans närhet. Klockor har gjutits även i stadsmiljöer eftersom det även här har funnits kyrkor. Exempel på detta finns från Visby (Swanström 1977).

För att ytterligare klargöra om det skett gjutning av andra föremål än kyrkklockor, kan analyser av metallspill genomföras eftersom olika föremål har gjutits av olika metallsammansättningar. Med hjälp av sådana analyser av metallsmältor från en arkeologisk slutundersökning i Skuttunge socken i Uppland (Grandin & Andersson 2008) kunde man göra en tolkning om att dessa kom från klockgjutning. Analyserna gjordes i ett tidigt skede av undersökningen och senare påträffades även två gjutgropar efter kyrkklockor i anslutning till den nuvarande kyrkan (Seiler & Östling 2008), där den äldsta är daterad till 1200-tal.

### Varifrån kom råvaran

För att kyrkklockor ska ha en bra klang krävs rätt sammansättning. Förutom en viss tennhalt är det viktigt att blyhalten är låg eftersom detta ämne försämrar ljudet i klangen. Kopparmalmen från Falun beskrivs därför som utmärkt för klockorna (Rinman 1789). Dateringen av klockgjutningen i Botkyrka sammanfaller med Falu koppargruvas storhetstid varför det vore av stort intresse att undersöka om kopparn kommer därifrån. Genom att göra metallanalyser finns möjlighet att se på spårämnen i metallen/legeringen om dessa visar likheter med Falukopparen.

Ännu större möjlighet finns genom att analysera blyisotoper. Bly förekommer i kopparmalmer (även om det här inte rör sig om halter som försämrar kvaliteten) och, liksom kol, uppträder bly i flera olika isotoper. Förhållandet mellan isotoperna är mycket karaktäristiskt för olika geologiska och därmed geografiska områden. Proportionerna förändras inte heller vid smältningen av metallen som andra ämnen kan göra. Som

exempel är blyisotopsignaturerna i malmer från svenska kopparmalmer t.ex. i Falun, klart skilda de från malmregioner i Centraleuropa.

Om man ytterligare vill spåra den använda råvaran rekommenderas därför blyisotopanalyser. Denna typ av analyser ingår dock inte i de nu genomförda analyserna.

## **Material och metod**

### **Material**

Det inlämnade materialet utgjordes av ett trettiotal inmätta fynd av smältor insamlade från matjordslagret med hjälp av metalldetektor. Övrigt material kommer från återfyllning i gjutgrop och består främst av tegel från ugnskonstruktion, rännformat tegel och infodring från ugnsvägg. Bland materialet från återfyllningen fanns även ett fåtal smältor och några bitar av gjutformsgods.

### **Metod**

Allt inlämnat materialet har granskats okulärt och sorterats i materialkategorier samt registrerats i Intrasis.

### **Okulär granskning av metallsmältor**

Metallsmältorna granskas med avseende på bland annat färg och densitet för att se vilka typer av metaller eller legeringar det rör sig om. Vid behov delas även dessa för att få ytterligare information i färska tvärsnitt om sammansättning och grad av homogenitet.

### **Provtagning**

Ett urval av delade metallsmältor provtas från en tvärsnittsytta. Provet, från några millimeter till några centimeter stort, gjuts in i en plastpuck och slipas och poleras för undersökning i optiskt mikroskop och analyser med elektronmikroskop.

### **Analys av metaller**

Tvärsnittsytor i de ingjutna och polerade proverna undersöktes först i polarisationsmikroskop för att göra en karaktärisering av provet och förbereda för kemiska analyser som har genomförts med en elektronmikroskop (EPMA) modell JEOL JXA-8530F med våglängdsdispersiv metod (WDS). Ämnen som analyseras är: S, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Ag, Sn, Sb, Au, Pb, Bi, Hg. I varje prov görs främst ytanalyser för att få kunskap om legeringens totalsammansättning. Dessa görs på ytor som är 50x50 mikrometer stora. Eftersom de aktuella kopparlegeringarna har en grovdendritisk textur med en heterogen fördelning av ämnena görs flera ytanalyser och ett medelvärde av dessa beräknas. Dessutom görs punktanalyser i den fas som har lägst kopparhalt eftersom eventuella spårämnen anrikas i denna. Om halter av spårämnen är tveksam i ytanalyserna kan deras eventuella förekomst bekräftas i punktanalyserna. Vid analysen är det också lätt att urskilja t.ex. blydroppar i kopparlegeringar, som inte framträder lika tydligt i

(*back-scattered electrons*) som mycket ljusare än den dominerande kopparlegeringen eftersom bly är betydligt tyngre än koppar.

## Resultat

Det av GAL registrerade materialet omfattar 67 fyndnummer fördelade på smältor av Cu-legering (42) och vitmetall (1), tegel från ugnsvägg (4), taktegel (8), övrigt tegel (2), infodring från ugnsvägg (7) och gjutformsgods (3). Alla typer tegel har registrerats som massmaterial, dvs. flera bitar med likaratade egenskaper kan ingå i ett fyndnummer. Taktegllet har dessutom delats upp i munk- respektive nunnetegel.

De detaljerade analysresultaten för metallsmältorna presenteras i Bilaga 1 där vart och ett av de utvalda och analyserade proven finns beskrivna. Förutom att alla prov granskats vid specialregistreringen i Intrasis och i samband med provurvalet har två huvudsakliga analysmetoder använts: undersökning i optiskt polarisationsmikroskop av polerprov samt mikrokemisk analys med elektronmikrosond. För varje prov finns en beskrivning baserad på resultaten från de analysmetoder som tillämpats. De viktigaste resultaten från de kemiska analyserna återges i korthet, och en sammanställning av alla kemiska analyser finns i Tabell 1.

### Brons – en legering av koppar och tenn

De undersökta metallsmältorna är alla bronser. Redan vid en okulär granskning kunde den karaktäristiska gröna färgen av ärgad kopparlegering noteras på såväl oregelbundna större smältor som tunnare smältor som stelnat mot begränsningsytor. Även mindre droppar från ugnsväggen visar samma färg (fig. 1), liksom tunna flisor på en gjutgodsvägg. I materialet noterades dock att en del smältor är betydligt blekare, närmast silvergrå, på ytan. En sådan nyansskillnad antyder en betydligt lägre kopparhalt än i de ärggröna.

De färgskillnader som noterats på ytorna kunde också ses, men inte tydligt, på delade ytor där intakt metall framträder. De ärggröna är något gulare än de blekare som har en blekare gul nyans. I en av smältorna (F564) kan man dessutom se en skillnad på två olika delytor. Analyserna visar att den visuella observationen stämmer. Den blekare delen i F564, B, har en högre tennhalt (26 %) än den gulare i delprov A (15 %).

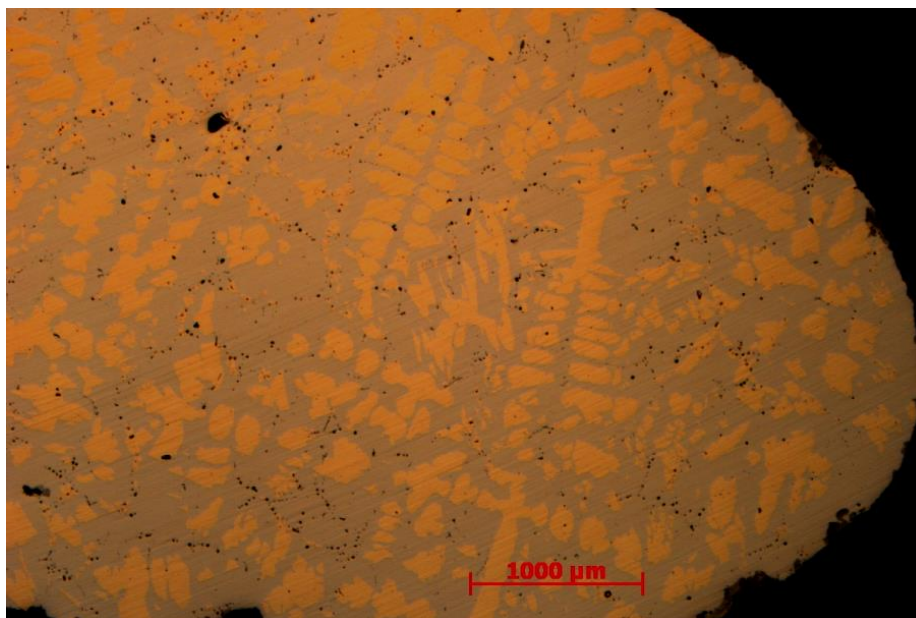
Även i mikroskop kan man följa de båda varianterna av legering. De gula legeringarna uppvisar en för smältor typisk dendritisk textur som också vanligen är grovkornig till följd av långsam avsvälning. Texturen består av två faser där den kopparrikare dominerar. I dessa är den totala tennhalten i storleksordningen 20 % (fig. 2 och 3). I de blekare är förhållandet omvänt, där dominerar den kopparfattigare fasen vilket bidrar till en total tennhalt på ca 25 % (fig. 3).

Även de små proverna från den nuvarande klockan i kyrkan uppvisar samma dendritiska textur (trots att provytorna bara är några hundra mikrometer stora). Klockan uppvisar också den förväntade storleksordningen på tennhalten (ca 21 %; fig. 3).

Alla analyserade prover, utom smältan F564, har i någon del tennhalter som är i den storleksordning som förväntas för klockor (fig. 3). Representerar F564 något annat eller rör det sig enbart om en oblandad legering? Detta återkommer vi till nedan, med hjälp av en del andra ämnen.

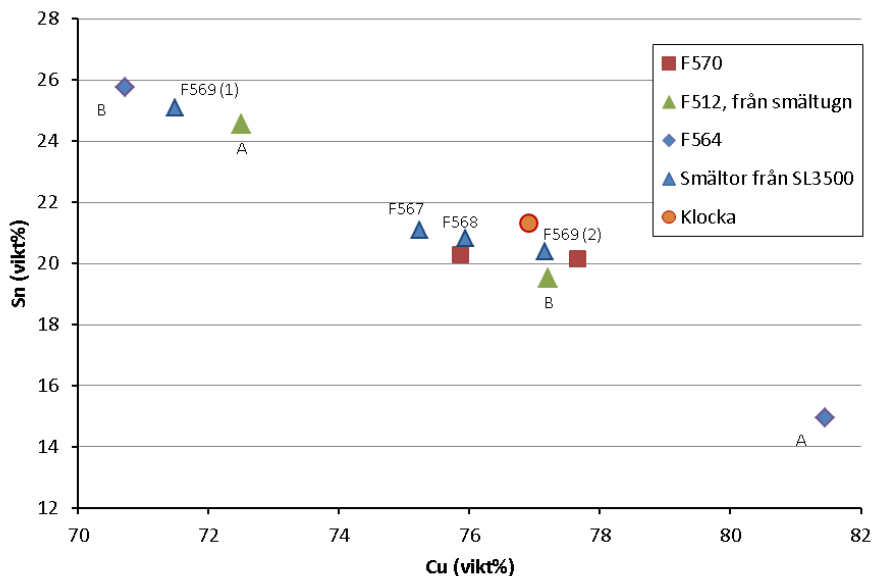


*Figur 1. F512. Smältdroppe B, från ugnsväggen. Droppen är delad för analys och tvärsnittet visar den karaktäristiska bronzen.*



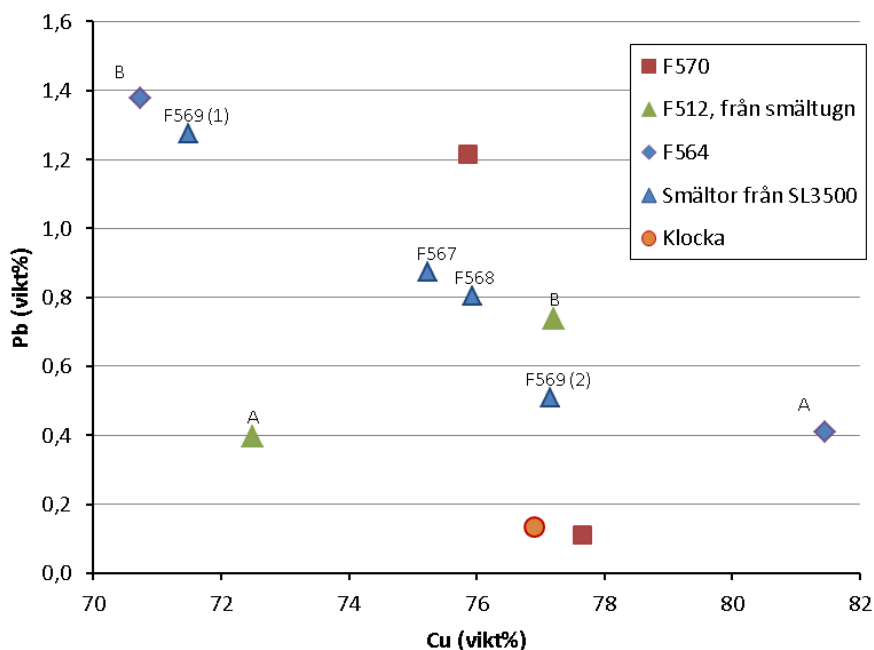
*Figur 2. F512. Smältdroppe B fotograferad i mikroskopet på slipad och polerad yta. En karaktäristisk grovdendritisk textur i legeringen visar två tydliga faser; en gulröd och en grå. Den grå fasen innehåller ca 25 % tenn. Den totala tennhalten i bronzen är ca 20 %.*

### Totalanalyser



Figur 3. Jämförelse av koppar- och tennhalt i de analyserade proverna. De som är samlade kring tennhalter på ca 20 % representerar den förväntade blandningen för klockor. En del av proven visar högre tennhalt och ett prov lägre tennhalt. Dessa representerar smältor som är heterogena i sin uppbyggnad.

### Totalanalyser



Figur 4. Jämförelse av koppar- och blyhalt i de analyserade proverna. Proverna med tennhalter på ca 20 % (se föregående figur) dvs. kopparhalter mellan 75 och 78 % i detta diagram, uppvisar en varierad blyhalt från någon tiondels procent till drygt 1 procent bly.

### **Blyinnehåll**

De flesta proverna innehåller också bly (fig. 4), i varierande halter från någon tiondels procent till ca 1,2 % (i tre smältor). Alla smältor med de högsta blyhalterna tillhör de som är heterogena i sin sammansättning, där det finns delar som är tennrikare och delar som är tennfattigare. Eftersom också blyhalten varierar förefaller det som om den smälta legeringen inte är helt homogeniserad. Möjligen kan denna heterogenitet vara en avkylningseffekt eftersom texturen visar en skillnad i kornstorlek från kanten mot mer centrala delar där också olika faser (högre/lägre tenn) förekommer, och bly som förekommer som små droppar som är tyngre än omgivande legering, kan ha koncentrerats på grund av dessa skillnader i densitet. Sannolikt rör det sig följaktligen inte om legeringar som har använts för andra ändamål.

### **Spårämnen?**

I de flesta proverna har också små sulfiddroppar observerats. Dessa bidrar till totalsammansättning i storleksordningen några tiondels viktprocent (tabell 1). I övrigt är proverna tämligen rena, dvs. inga andra ämnen förekommer i halter över någon tiondels viktprocent så när som på ett undantag. Undantaget är smältan F564, där två delprov har tagits från varsin utskjutande del av smältan. Den ena (prov B) är ren likt de andra proven, men delprov A uppvisar innehåll av nickel, arsenik och antimon – ämnen som förekommer i vissa kopparmalmer. Denna del av smältan uppvisar också den lägsta tennhalten i hela materialet (ca 15 %). Denna är lite av ett mysterium. Varför finns dessa spårämnen i ena delen av smältan men inte i den andra? Allt annat undersökt material förefaller vara baserat på en och samma legering. Har det trots allt funnits olika råvaror tillgängliga där en, ren legering har dominerat, men en med innehåll av spårämnen också har använts? Eller är det något annat som har återanvänts?

### **Tegel och infodring**

Det okulärt granskade teglet består dels av murtegel, dels taktegel. Det senare materialet utgörs av det rännformade tegel som skulle undersökas föra att bedöma om det bland dessa fanns något som kunde knytas mer direkt till funktioner inom klockgjutningen.

Merparten av murteglet härrör sannolikt från smältugnen till klockgjutningen. Knappt 13 kg murtegel fördelat på 42 bitar av varierande storlek har registrerats som *tegel, ugnsvägg*. Det använda teglet i ugnen var 80 mm tjockt. Ingen av tegelstenarna var bevarad till full längd eller bredd. Bredden har dock varit större än 110 mm. Ugnsinfodringen är på de bitar där denna kunnat mätas 10–25 mm tjock. Totalt har drygt 4,8 kg, fördelat på 53 bitar registrerats som infodring. Materialet i infodringen ger ett sandigt intryck. De bitar där tegel och fog inte smält samman visar att fogarna mellan tegelstenarna var ca 10 mm. I de smälta partierna i både tegel och infodring har kopparlegering i flera fall trängt in i godset.

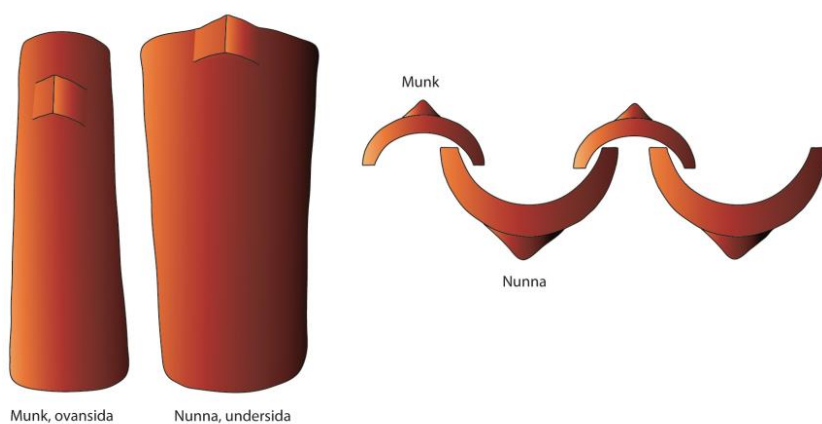
Utöver det murtegel som kommer från smältugnen registrerades ca 1,1 kg fördelat på 27 bitar. Eftersom dessa bitar varken var sekundärt

brända eller hade något påsmält material kan de inte knytas till smältugnen.

Det tillvaratagna takteglet är av munk- och nunnetyp. Kvaliteten är ojämn och även färgen varierar. En del bitar har en slät struken yta medan andra har en grövre, kornig yta. Drygt 9 kg taktegel har registrerats, varav 5,8 kg bedömts vara munktegel och 2,2 kg nunnetegel. Resterande 1,1 kg har inte kunnat bestämmas. På undersidan av två bitar finns en delvis bevarad klack i änden av skärvorna (fig. 5). Klacken på nunnetegel användes för att hänga fast teglet på den underliggande takläkten (fig. 6). På munktegel sitter klacken på ovensidan, en bit ned från den ände som pekar uppåt på taket och förhindrar därmed att teglet ovanför glider ned. Några sådana klackar har inte påträffats bland munktegel skärvorna.



Figur 5. Fragment av nunnetegel med klack.



Figur 6. Principbild för munk- och nunnetegel. Nunneteglen är breda och ligger med den konvexa sidan nedåt så att de bildar rännor medan de smalare munkteglen ligger med den konvexa sidan uppåt så att de täcker mellanrummet mellan rännorna. Illustration: GAL.

## Diskussion och tolkning

### Metall

Med utgångspunkt i analysresultaten kan vi dra slutsatsen att den brons, som dominerar i materialet, är av den sammansättning som vanligtvis används för klockor med storleksordningen 20–25 % tenn, till skillnad från många andra, mindre föremål som tillverkas med betydligt lägre tennhalter kring 10 % och lägre. I det undersökta materialet finns därmed inga tecken på att också andra typer av föremål skulle ha gjutits. Den låga blyhalt som noterats stämmer också bra överens med det ”recept” på klockmetall som beskrivs av Rinman (1789) *”Til stora tornklockor brukas gemenligen en blandning af 5 lispund renaste tenn emot 20 lispund eller 1 skeppund koppar. Minsta tilsats af bly skämmer både ljud och gjutning....”*.

En uppställd hypotes inledningsvis var om den nuvarande klockan i kyrkan är gjuten av samma råvara som finns på klockgjutningsplatsen. Måtten på klockan förefaller inte helt överensstämmande med måtten på gjutplatsen, men det skulle kunna röra sig om att en tidigare klocka har gjutits om till en ny. Resultaten från analyserna visar på stora likheter mellan gjutspillet och klockan vad gäller innehåll av tenn och bly, dvs. de huvudkomponenter som förekommer tillsammans med koppar. I stort sett allt gjutspill är fattigt på spårämnen, likaså klockan. Det innebär att råvaran genomgående är en tämligen ren kopparmalm (sulfidmalm). Men, sådana finns det flera av. Avsaknaden av spårämnen, som skulle utgöra signifikanta fingeravtryck, försvårar därför tolkningen om att det rör sig om samma råvara. Möjligheten kvarstår dock. Inledningsvis berördes möjligheten att koppargruvan i Falun, eller andra kopparmalmer i Bergslagen, skulle kunna vara leverantör av råvara. För att det skulle vara troligt skulle vi förvänta oss en annan spårämnessignatur, med t.ex. förekomst av zink och järn, men något lägre nickel (jämför t.ex. Forshell 1992). Visserligen förändras spårämnessignaturen under processens gång från malm via råkoppar till färdig koppar, men det är mindre sannolikt att det skulle generera den sammansättning vi har noterat i smältorna. För att komma vidare i denna fråga är följaktligen analyser av blyisotoper en möjlig väg. Dels för att se om något av gjutspillet och klockan har samma isotopsignatur, dels för att möjligen kunna spåra ursprungsmalm(erna).

### Tegel och infodring

Med utgångspunkt i den okulära granskningen av materialet görs tolkningen att smältugnen, åtminstone till stora delar, varit tillverkad av tegel. Den okulära granskningen påvisar inga tecken på omfodring av ugnen som direkt skulle innebära en flergångsanvändning. Möjligen kan mer detaljerade keramiska analyser avslöja ett sådant förlopp.

Granskningen av murteglet från smältugnen visade vidare att den sida av teglet som varit vänd in mot ugnskammaren har blivit sekundärbränd i olika utsträckning. På flera bitar har teglet smält, ytan deformerats och det går inte att se övergången mellan tegel och ugnsinfodring, dvs. teglet har smält samman med ugnens infodring. Ugnsbyggarna tycks ha använt ett likartat eller möjligen samma material för infodring som för fogarna mellan tegelstenarna.

När det gäller det tillvaratagna rännformade teglet finns inget påsmält material eller andra tecken på att det skulle ha använts för en tillförselkanal vid klockgjutningen. Det troligaste är att detta tegel, av munk- och nunnetyp, härrör från ett tak, antingen över gjutplatsen eller från någon närliggande byggnad.

## Referenser

- Dungworth, D. & Nicholas, M. 2004. Caldarium? An antimony bronze used for medieval and post-medieval cast domestic vessels. *The Journal of the Historical Metallurgy Society* 38, 24–34.
- Forshell, H. 1992. The inception of copper mining in Falun. Theses and papers in archaeology. B:2. Archaeological Research Laboratory, Stockholm University.
- 2003. Kemisk analys av metaller; en case study. I: Berg, L., Forshell, H. & Söderberg, A. (red) I gruva och grav. Metallhantering från bronsålder till nyare tid.
- Grandin, L. & Andersson, D. 2008. Gjutspill och smältor. I: Seiler, A. & Östling, A. 2008. Bönder, stormän och bronsgjutare. Senneolitikum, bronsålder, järnålder och historisk tid vid Skuttunge kyrka. Riksantikvarieämbetet. UV Uppsala, rapport 2008:25. Stockholm.
- Haltiner Nordström, S. 2009. Arkeologisk förundersökning. Kvarteret Dovahjorten. Inför nybyggnation inom RAÄ 50, stadsdelen Öster, Jönköpings stad. Jönköpings läns museum Arkeologisk rapport 2009:20.
- Nilsson, S. 2008. Kvarteret Bofinken. Arkeologisk för- och slutundersökning med anledning av nybyggnation i kvarteret Bofinken, Kristine församling, Jönköpings stad, RAÄ 50. Jönköpings läns museum Arkeologisk rapport 2008:51.
- Rinman, S. 1789. Bergwerkslexicon. Stockholm.
- Seiler, A. & Östling, A. 2008. Bönder, stormän och bronsgjutare. Senneolitikum, bronsålder, järnålder och historisk tid vid Skuttunge kyrka. Riksantikvarieämbetet. UV Uppsala, rapport 2008:25. Stockholm.
- Swanström, E. 1977. Gjutplats för kyrkklocka i Visby. *Hikuin* 3, 1977, 223–230.

## Administrativa uppgifter

*SHMM:s dnr:* 5.1.1-00139-2015 (RAÄ:s dnr: 3.1.1-03375-2013).

*Länsstyrelsens dnr:* 4311-35313-2013.

*SHMM:s projektnr:* A12731 (del av A12676)

(RAÄ:s projektnr: 12731 (del av 12676).

*Intrasisprojekt:* UV2013\_138.

*Projektgrupp:* Lena, Grandin, Svante Forenius, Eva Hjärthner-

Holdar *Underkonsulter:* CEMPEG (vid Institutionen för

Geovetenskaper vid Uppsala Universitet) (kemiska analyser)

*Digital dokumentation:* återfinns i databasen.

*Foton:* Lena Grandin och Svante Forenius.

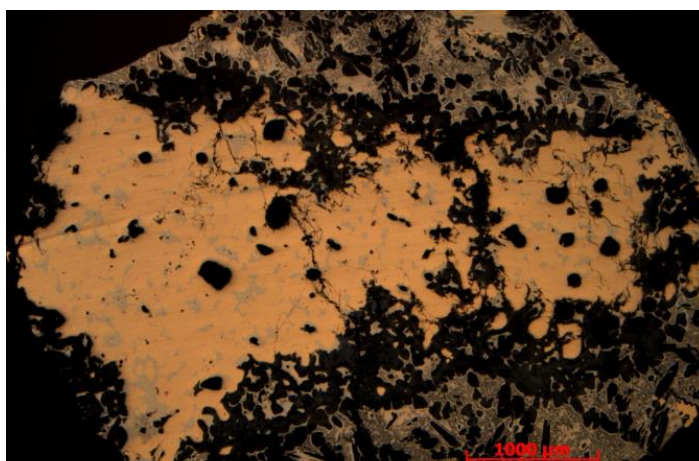
## Bilaga 1. Detaljerade analyser

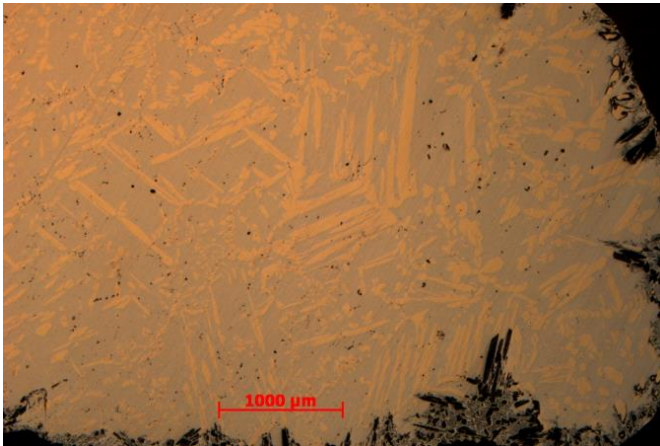
### F564, smälta

Två prover är tagna från samma smälta där (A) okulärt är mörkare och (B) blekare. I mikroskop framträder (A) som delvis sekundärt påverkat men bevarade legeringen utgörs av en grov, globulär legering med dominans av två närliggande ljus gul-röda faser och en ljus grå i mindre mängd. (B) är kantigt dendritisk med domineras av den ljus grå fasen och den ljus gul-röda i mindre mängd (förklarar den blekare färgen). I båda finns en mörkare grå fas (sulfider) och blydroppar i underordnade mängder. Den grå fasen innehåller ca 32 % tenn i båda proverna. Den totala tennhalten är 15 respektive 26 %. I delprov A finns också spår av nickel (0,3 %), arsenik (0,2 %) och antimon (0,1 %).



*F564. Smälta med en yta som är ljus jämfört med de vanligen mer ärggröna som finns i fyndmaterialet. Tvärsnittsytan till höger (A), är något gulare än ytan (B) till vänster som är blekare.*





F564. Delprov B där legeringen domineras av den grå fasen med den gulröda i mindre mängd. Den totala tennhalten är ca 26 %.

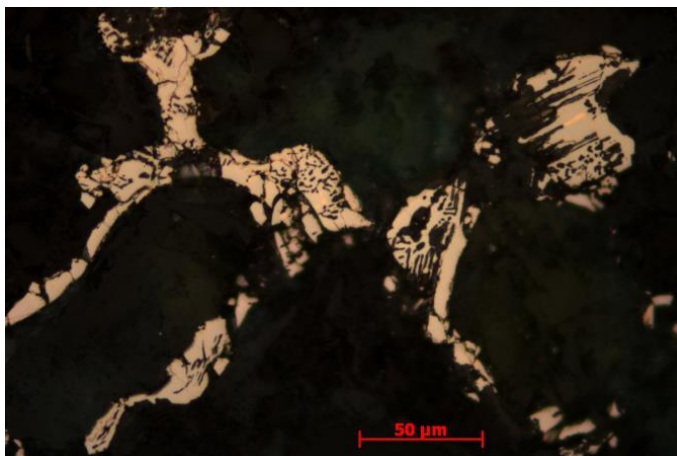
### F571, gjutgods, metall på keramiskt material

Många små fragment av tunn ärggrön hinna från gjutgods. De flesta är oxiderade men i ett fåtal finns små ytor av metall bevarat. I flera kan en gjuttextur anas med en ljus grå fas som dominerar med en mörkare grå (sekundär?) som underordnad. I ett fåtal finns två faser; en ljus gul-röd och en ljus grå, vilka är tydligare i de andra proverna.

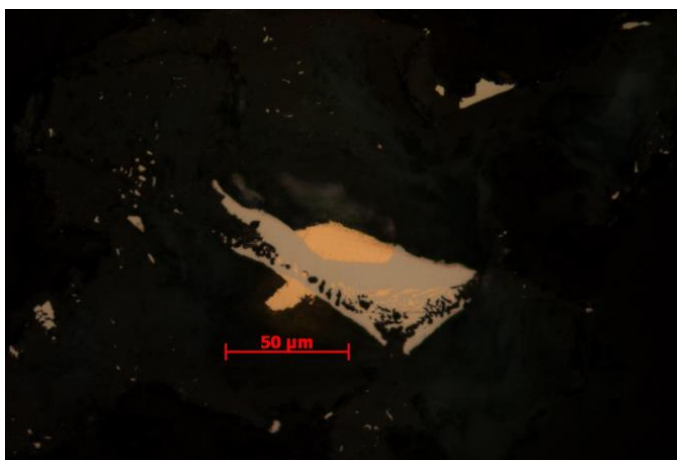
Huvudsakligen fanns endast sekundära bildningar för analys. En punkt, troligen höglegeringsfasen kunde dock analyseras (Tabell 1). kemiskt. Den visar en hög tennhalt på ca 34 %, med spår av nickel och kobolt (ca 0,03 % vardera). Eventuellt är även denna fas något sekundärt påverkad vilket förklarar den höga tennhalten.



F571. Fragment av gjutgods av mörkt keramiskt material. Tunna ärggröna flagor på ytan har analyserats.



F571. Små fragment av bevarad metall (observera skalan!). En grå fas dominerar, med underordnat en rödare fas. Alla mörka ytor är oxiderat material.



F571. Ett litet fragment av legering där två tydliga faser kan urskiljas (jämför övriga prover).

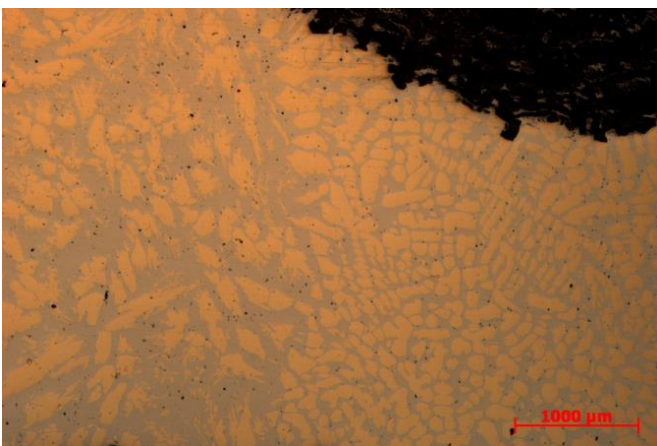
### F570, smälta mot keramiskt material

Provet utgörs av en smälta av kopparlegering som fäst mot rödbränd keramiskt material (som också analyserats, av SKEA). Provet består av en legering bestående av två faser; en ljus gulröd och en ljus grå i likartade mängder. Dessa uppträder dock i två olika texturer. I ena halvan framträder en grovdendritisk textur, med rundade former, medan andra halvan har något kantigare former, men dendritliknade utbredning. Övergången mellan de båda är kontinuerlig. Möjligen är det en skillnad i proportioner mellan de båda. I båda delarna förekommer också en underordnad mörkt grå fas (sulfider) samt blydroppar. Metallen förekommer i kontakt med keramiskt material. Även inträngt i detta finns metall som dock är oxiderad.

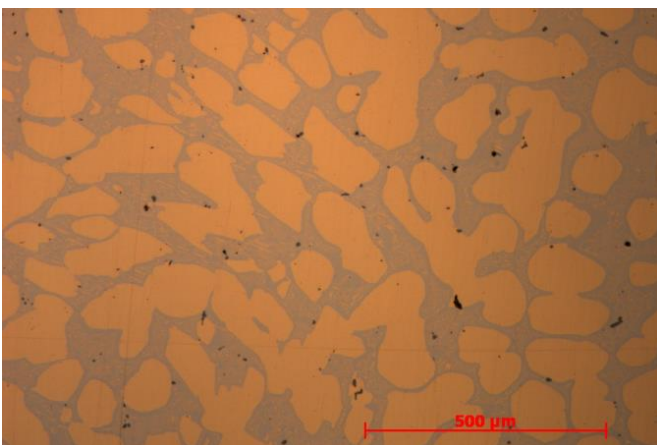
Kemiska analyser visar att tennhalten är på samma nivå i båda de analyserade delarna; ca 20 %. Möjligen kan fördelningen av blydroppar skilja sig åt mellan dem, där den totala blyhalten är högre i delen med kantigare former (ca 1,2 %) och lägre i den med rundare former (ca 0,1 %). Spår av nickel (0,02 %) respektive kobolt (0,6 och 0,7 %) finns också.



F570. Smälta som stelnat mot rödbränt keramiskt material. Delar av tvärsnittet har analyserats.



F570. Foto från mikroskopet på polerat prov med en legering med två tydliga faser; en gulröd och en grå. Dessa förekommer dock i två olika texturer; en kantigare till vänster med större andel av den grå fasen, och en rundare till höger. Den totala tennhalten är ca 20 % i båda delarna.

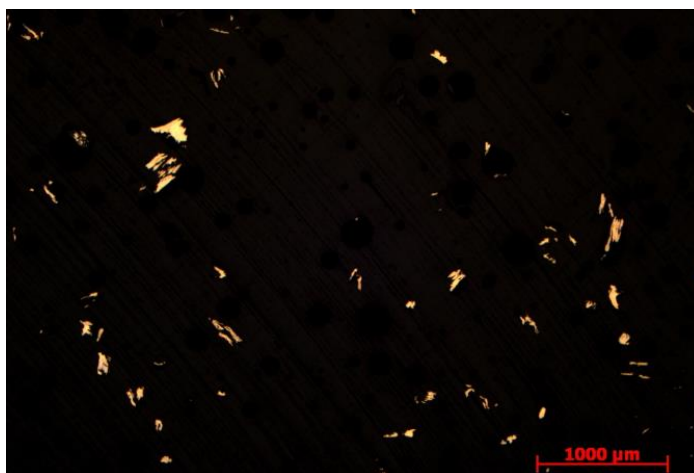


F570. Detalj ur den högra delen av föregående figur där också en mörkare grå

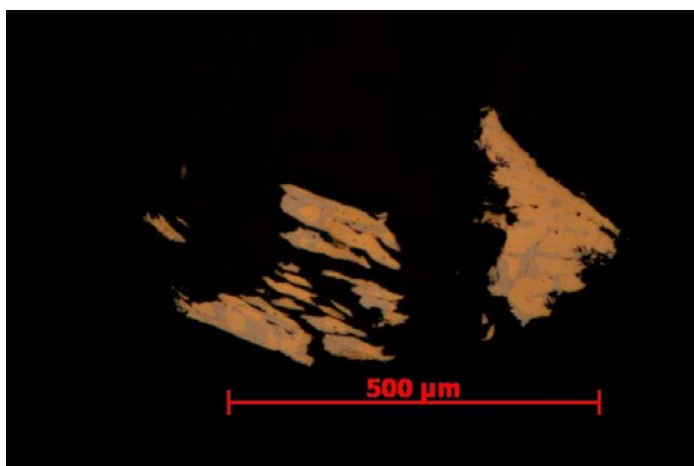
### **Mellanklocka, från Botkyrka kyrka**

Ett prov har tagits av uppdragsgivaren från den nuvarande klockan i Botkyrka kyrka, intill den undersökta klockgjutningsplatsen.

Provet utgörs av många små flisor. Dessa förefaller vara enhetliga i sin sammansättning. I de något större (300 mikrometer) kan en grovdendritisk textur anas, med en ljust gul-röd fas och en ljust grå fas. Troligen finns samma textur även i de övriga små fragmenten. Den ljust grå fasen, dvs. den med lägst kopparinnehåll, är analyserad separat och visar en tennhalt på ca 32 %. Spårämnen förekommer i låga halter (0,06 % Ni) eller i halter under detektionsnivån. Eftersom flisorna är tämligen små var det nödvändigt att analysera mindre ytor än i de större smältorna; som mest 20 mikrometer stora. Analysresultatet visar en total tennhalt på 21 %.



*Mikroskopbild av några av de små flisorna av metallprov från kyrkklockan.*



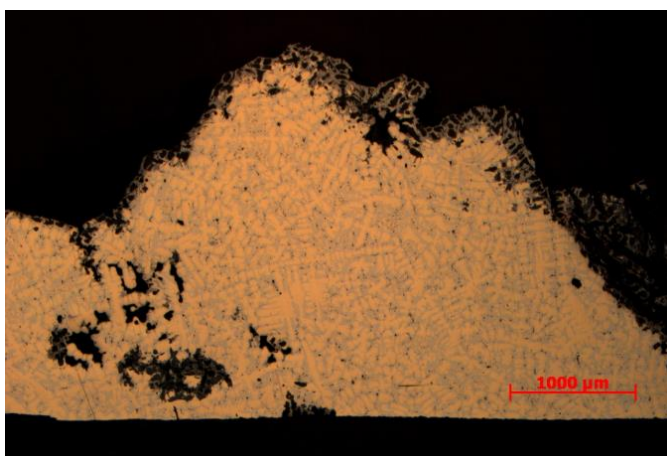
*Några små fragment av legering där två tydliga faser med dendritisk textur kan urskiljas (jämför övriga prover). Den ljusare har en tennhalt på ca 32 %, vilket är karaktäristiskt för hög-tennfäsen i denna typ av brons. Den totala tennhalten är ca 21 %.*

**F568 (SL3500), smälta med "avtryck", som stelnat mot begränsningsyta**

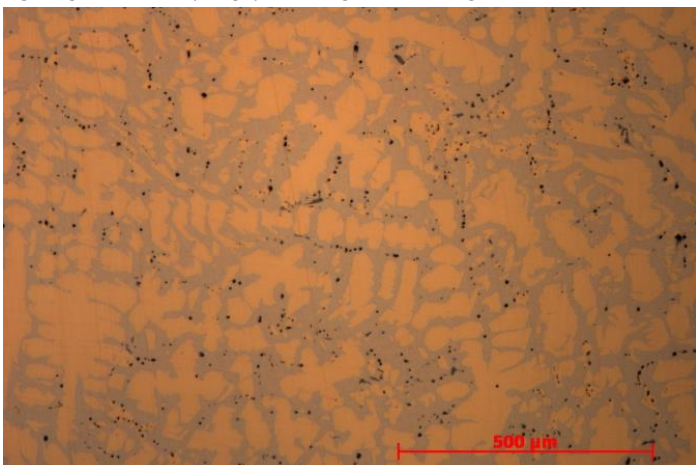
Ett prov har tagits från smältans ytterkant. I mikroskop framträder en homogen, grovdendritisk, ljus gul-röd legering. Två faser; en ljus gul-röd och en ljus grå. Underordnat finns en mörkare grå fas (sulfider), samt blydroppar. Smältan är oxiderad i ytterkanten och lokalt även mer centralt. Längs ytterkanten finns även sekundärt bildad koppar. Analyser av den kopparfattigaste fasen visar en tennhalt på ca 32 %. Den totala tennhalten är ca 21 %. Bland spårämnena förekommer låga halter, nära detektionsnivåerna, av nickel och kobolt (0,03 % vardera).



*F568. Metallsmälta som stelnat mot en plan begränsningsyta. Ett prov från ytterkanten är analyserat.*



*F568. Foto från mikroskopet på polerat prov med en grovkornig, dendritisk, textur i legeringen med två tydliga faser; en gulröd och en grå. Den totala tennhalten är 21 %.*



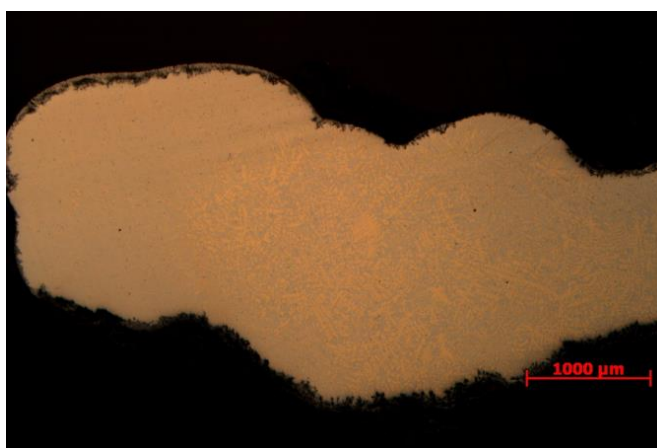
### **F569 (SL3500), smälta som ställvis har blek yta**

Legering bestående av två faser med olika utbredning. I ena halvan förekommer; en ljus gul-röd och en ljus grå fas i en dendritisk textur. I andra halvan (figurerna nedan) är dock den grå fasen kraftigt dominerande (förklarar den bleka färgen). Underordnat förekommer en mörkt grå fas (sulfider) och blydroppar. Legeringen är selektivt oxiderad längs ytterkanten där lokalt sekundärt bildad koppar förekommer. Detta prov är något finkornigare än bl.a. de andra från SL3500.

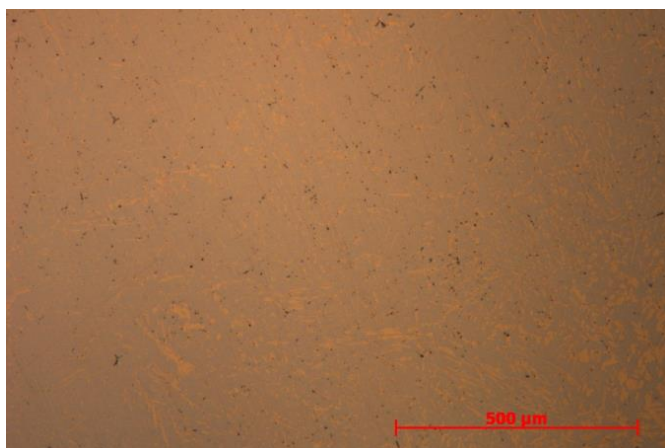
Kemiska analyser visar att den totala tennhalten är ca 25 % i den blekare delen och ca 20 % i den gulare delen. Även blyhalten skiljer sig mellan de båda delarna med en högre blyhalt (1,3 %) i den blekare delen och en lägre (0,5 %) i den gulare (jämför provet från smältan som stelnat mot keramiskt material). Analyser i höglegeringsfasen visar en tennhalt på ca 30 %. Bland spårämnen förekommer låga halter, nära detektionsnivåerna, av nickel och kobolt (0,03 respektive 0,02 %).



*F569. Oregelbunden smälta som utöver den karaktäristiska ärggröna färgen har en ovanligt ljus metallisk yta som kan ses längst till höger. Provet för analys har tagits i det delade tvärsnittet.*



*F569. Detalj på den blekare delen av smältan där legeringen domineras av en grå fas och en gulröd förekommer i mindre mängd. Den totala tennhalten är ca 25 %.*



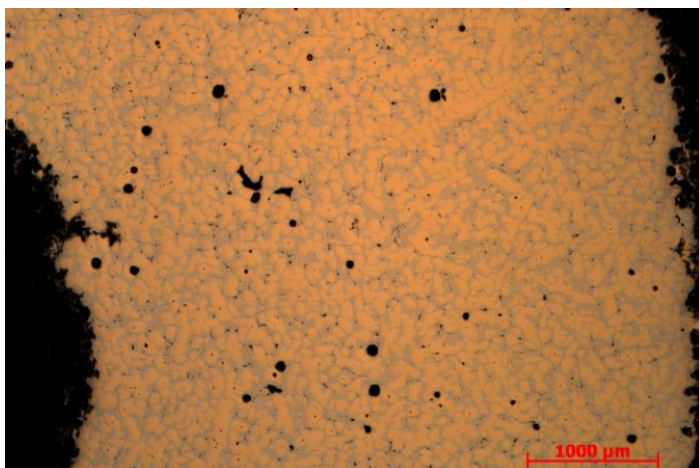
F569. Detalj ur ovanstående visar dominans av den ljus grå fasen.  
En mörkare grå fas (sulfider) finns i underordnad mängd.

### F567 (SL3500), stor oregelbunden smälta utan tydliga begränsningsytor

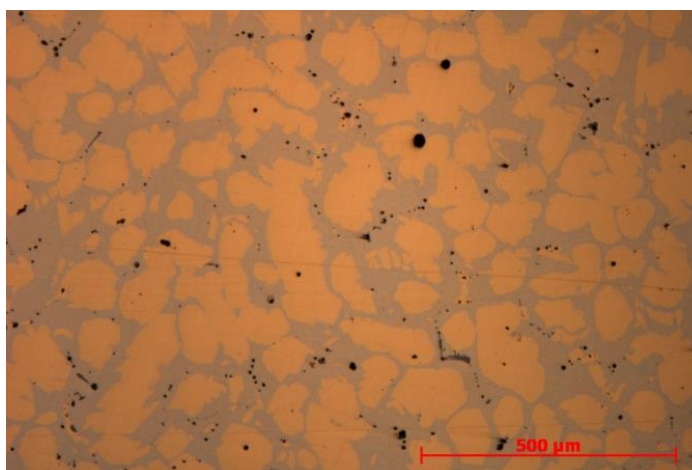
I mikroskop framträder en homogen, grovglobulär (snarare än dendritisk) legering. Enstaka hålrum. Ljust gul-röd legering. Två faser; en ljus gul-röd och en ljus grå. Underordnat finns en mörkare grå fas (sulfider), samt blydroppar. Lokalt finns sekundärt bildad metallisk koppar. Smältan är något oxiderad i ytterkanten. Den totala tennhalten är 21 %, och blyhalten 0,9 %.



F567. En av de större smältorna i fyndmaterialet. Sågat tvärsnitt (metallyta) där prov tagits för analys.



F567. Foto från mikroskopet på polerat prov med en grovkornig, globulär, textur i legeringen med två tydliga faser; en gulröd och en grå. Den totala tennhalten är 21 %.



F567. Detalj ur föregående bild, där också en mörkare grå fas (sulfider) i liten mängd kan ses.

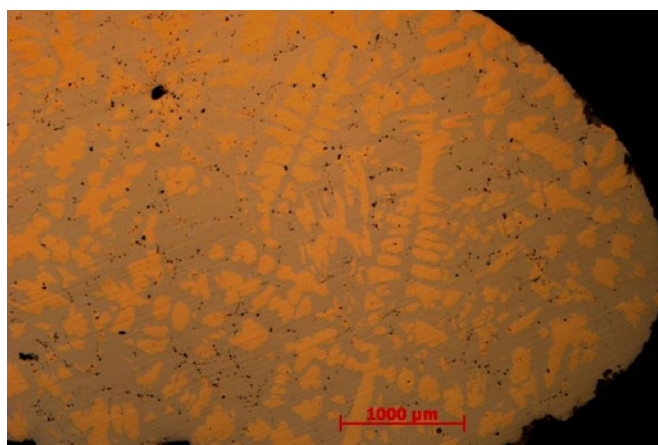
### F512, smältugn, två droppar ur ugnsvägg

En mindre (A) och större (B) droppe från ugnsväggen. Båda har en dendritisk (grov) till globulär textur med två faser; en ljus gul-röd och en ljus grå. Möjligen rör det sig om något olika proportioner i A och B. Underordnat förekommer en mörkare grå fas (sulfider) och blydroppar.

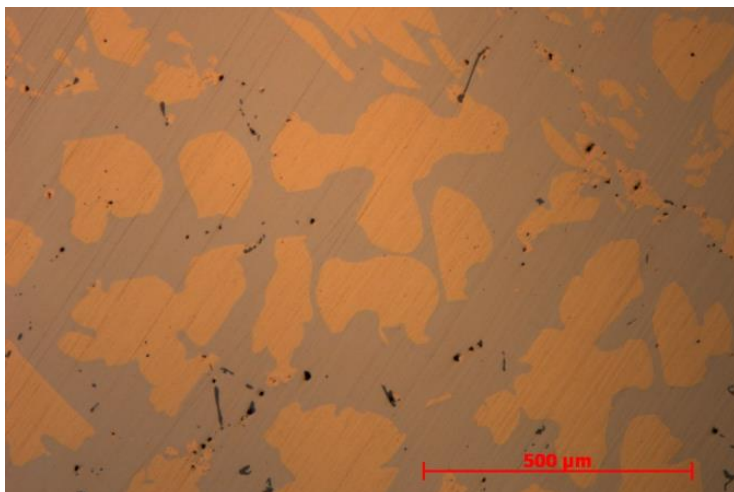
Analys av den kopparfattigaste faser i droppe A respektive B visar en tennhalt på 32 respektive 25 %. Bland spårämnen förekommer låga halter, nära detektionsnivåerna, av nickel och kobolt. Den totala tennhalten är 25 respektive 20 %.



F512. Smältdroppe B, delad, från ugnsväggen.



F512. Smältdroppe B med en grovdendritisk textur i legeringen med två tydliga faser; en gulröd och en grå. Den grå faser innehåller ca 25 % tenn. Den totala tennhalten är ca 20 %.



F512. Smältdroppe B, detalj ur föregående där också en mörkare grå fas i liten mängd kan ses. Den grå fasen är kopparsulfider med liten mängd järn.

Tabell 1. Analyser med elektronmikrosond (JEOL JXA-8530F) på polerade ytor av proven. Värdet = 0 innebär att ämnet inte förekommer i halter över detektionsnivån. Analyserna är gjorda vid Institutionen för Geovetenskaper vid Uppsala Universitet. I den övre delen återges bulkanalyser, dvs. totalsammansättning av legeringen. Resultaten är beräknade medelvärden från ett antal ytor (20 eller 50 mikrometer stora) i respektive prov. I den nedre delen återges resultaten för höglegeringsfasen, dvs. den fas som har högst halt av tenn och lägst av koppar (grå i fotona).

Analys	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Au	Pb	Bi	Hg	Total
Bulk	0,02	0,02	0,03	0,03	72,50	0	0,00	0	24,56	0	0,01	0,40	0	0,05	97,62
Bulk	0,03	0,03	0,03	0,02	77,21	0	0,01	0	19,53	0	0,01	0,74	0,01	0,00	97,61
Bulk	0,07	0,10	0,03	0,32	81,45	0	0,16	0	14,94	0,11	0,01	0,41	0,02	0,01	97,62
Bulk	0,07	0,07	0,01	0,01	70,73	0	0,02	0	25,76	0	0,00	1,38	0,03	0,02	98,11
Bulk	0,12	0,02	0,03	0,02	75,24	0	0	0	21,10	0	0,01	0,87	0,01	0,06	97,48
Bulk	0,19	0,01	0,03	0,03	75,94	0	0,00	0	20,81	0	0,01	0,80	0,04	0,00	97,87
Bulk	0,12	0,01	0,02	0,03	71,49	0	0	0	25,08	0	0,01	1,27	0,00	0,03	98,09
Bulk	0,10	0,03	0,02	0,03	77,16	0	0	0	20,40	0	0,01	0,51	0,01	0,01	98,27
Bulk	0,47	0,07	0,06	0,02	75,87	0	0,01	0	20,30	0	0,02	1,22	0,02	0,03	98,06
Bulk	0,07	0,02	0,07	0,02	77,65	0	0,02	0	20,17	0	0,01	0,11	0,02	0,02	98,18
Bulk	0,33	0,01	0,00	0,04	76,90	0,00	0	0	21,33	0	0,01	0,14	0,01	0,01	98,80
Höglegeringsfas	0,03	0,00	0,02	0,03	67,26	0	0	0	31,65	0	0	0,24	0,03	0	99,26
Höglegeringsfas	0,02	0,03	0,01	0,02	73,40	0	0	0	25,42	0	0	0,13	0,05	0,03	99,09
Höglegeringsfas	0,06	0,01	0,02	0,51	66,83	0	0	0	31,84	0,21	0,05	0,12	0	0	99,64
Höglegeringsfas	0,07	0	0,01	0,02	66,74	0	0	0	32,25	0	0	0,15	0	0	99,23
Höglegeringsfas	0,12	0,01	0,04	0	81,52	0	0	0	17,49	0	0	0,05	0	0	99,24
Höglegeringsfas	0,12	0,02	0,02	0,04	66,73	0	0	0,02	31,71	0	0	0,44	0	0,01	99,10
Höglegeringsfas	0,05	0,01	0,03	0,03	68,24	0	0	0	30,05	0	0,02	0,11	0,07	0,02	98,64
Höglegeringsfas	0	0,02	0,10	0,04	66,96	0	0	0	32,11	0	0,00	0,21	0	0	99,44
Höglegeringsfas (?)	0,11	0,07	0,03	0,03	61,34	0	0	0	34,20	0	0,00	0,23	0	0	96,00
Höglegeringsfas	0,04	0,00	0	0,06	67,18	0	0	0	31,94	0	0	0,20	0,01	0	99,43