

Nordisk Numismatisk Unions Medlemsblad

- Dansk Numismatisk Forening • Føroya Myntsavnarafelag • Myntsafnarafélag Íslands •
- Norsk Numismatisk Forening • Numismatiska Föreningen i Åbo • Skånes Numismatiska Förening •
- Numismatiska samlingarna, Finlands nationalmuseum • Den kgl. Mønt- og Medaillesamling •
- Kungl. Myntkabinettet • Lunds Universitets Historiska Museum • NTNU Vitenskapsmuseet •
- Myntkabinettet, Universitetet i Oslo • Suomen Numismaattinen Yhdistys •
- Svenska Numismatiska Föreningen • Arkeologisk museum, Universitetet i Stavanger •
- Uppsala universitets myntkabinett • Numismatiska Forskningsgruppen •
- Myntsafn Seðlabanka og Þjóðminjasafns •

*Knud den Stores udmøntning i
Danmark vest for Øresund
i lyset af Brita Malmers værk
Del II: Ringsted og Slagelse*

ED-XRF-analys av ett billonmynt



Nr. 3 • September 2026

ED-XRF-analys av ett billonmynt

Av Anders Berglund

Danska skillingmynt 1619–1622 förekommer i tre typer, med undertyper med olika myntmästarmärken:

- 1) Kroneskilling 1619, krönt monogram, valör samt 96 i oval, fint silver 85,9%, H113A-B.
- 2) Skilling 1619, krona, valör, billonsilver 31,2%, H118 A-B.
- 3) Skilling 1619–1623, krönt monogram, valör, billonsilver 31,2%, H119A (1619), H119B (1620–1623), H119C (1620–1622), H119D (1620–1621, 1623).

Anders Harck ställer i sin artikel i *Numismatisk Rapport* (Harck 2021) frågan om Hede 119A (1 skilling, 1619, myntmästare Johan Post), vars silverhalt han uppmätte till ett värde som vida överstiger den föreskrivna silverfinheten på 31,2%, bör klassificeras som tillhörande de fina kroneskillingarna (Hede 111–113) med en föreskriven finhet på 85,9%.

I denna artikel presenteras resultaten av analysen av ett liknande mynt (Hede 119 C). Myntet vitkokades på ena sidan och den andra sidan polerades för att blottlägga myntets kärna. Metoden som beskrivs nedan kan även användas för analys av andra icke-förstörda mynt. Frågan är vad en XRF-analys säger om myntets verkliga silverhalt och vilka felkällor man måste beakta för att möjliggöra en korrekt klassificering, här med den danska skillingen som exempel.

Mynt och destruktiv preparering av myntet för mätning

Det här analyserade myntet är en dansk 1 skilling från 1620, präglad i Köpenhamn av myntmästaren Nicolaus Schwabe (Hede 119C). Myntet har en föreskriven silverhalt på 31,2% och en vikt på 0,523 g. Detta motsvarar en myntskiva med en tjocklek på 0,422 mm. Den ena sidan, "silversidan", användes för att studera effekterna av vitkokning. Den andra sidan, "kopparsidan", användes för att bestämma sammansättningen av myntets kärna. Frånsidan – "silversidan" – av myntet vitkokades (*blanching, pickling, weißkochen*) två gånger i en varm lösning av 20% citronsyra under fem minuter vardera. Åtsidan – "kopparsidan" – av myntet polerades med SiC- pulver på en Q-tips tills (främst) kopparlegeringen var synlig. SiC användes som slipmedel för att undvika att legeringen förorenades med andra metaller, exempelvis järn från en stålfil.

Figur 1. Myntet före och efter preparering. Bilderna till vänster visar "koppar"-sidorna, och bilderna till höger "silver"-sidorna. Skala ca 2,5 : 1.



Resultat

Detaljer om hur dessa resultat erhöles samt terminologin för elementtopparna (K, L, etc.) presenteras i avsnittet om **Mätteknik** nedan. De rapporterade koncentrationsvärdena bygger antingen på Olympus Vantas proprietära algoritmer för snabb beräkning av koncentrationer eller på en mer detaljerad och tidskrävande beräkning gjord med PyMca.

(i keV)	Skilling 1620, Hede 119 C, kopparsida	Skilling 1620, Hede 119 C, silversida	Skilling 1619, Hede 119 A
Cu K 8,05	65,56 ± 0,28	29,46 ± 0,15 kvot: 0,45	24,20
Ag K 22,16	32,19 ± 0,69	51,53 ± 1,08 kvot: 1,60	73,40
Ag L 3,15	35,08 ± 0,69	88,36 ± 1,08 kvot: 2,52	-
Au L 11,44	0,032 ± 0,462	0,087 ± 0,612 kvot: 2,70	0,09
Pb L 12,61	0,73 ± 0,14	1,20 ± 0,18 kvot: 1,64	0,64
Sb K 26,36	0,11 ± 0,44	0,15 ± 0,48 kvot: 1,29	-
Zn K 8,64	0,36 ± 0,20	0,10 ± 0,18 kvot: 0,28	0,92
Bi L 13,02	0,044 ± 0,588	0,085 ± 0,797 kvot: 1,95	0,09
Fe K 6,41	0,71 ± 1,55	0,39 ± 0,97 kvot: 0,55	0,19
Ni Ka 7,48	0,058 ± 0,242	0,0078 ± 0,2042 kvot: 0,13	-
As Kb 11,73	0,063 ± 0,295	tr	-
Br K 11,92	-	0,00457 ± 0,00014	-
Co K 6,93	0,0043 ± 0,3424	tr	-
W L 9,67	0,06196 ± 0,00073	0,03056 ± 0,00061 kvot: 0,49	-
Pd K 21,18	0,0138 ± 0,0014	-	0,40
Se K 11,22	-	-	0,04

Tabell 1. Mätresultat.

Den första kolumnen anger elementsymbol, grupp och energi för den dominerande toppen. De följande kolumnerna visar de uppmätta koncentrationsvärdena i procent. Den andra och tredje avser de två sidorna av det undersökta myntet (spektrum analyserat med PyMca, se avsnittet **Analys** nedan), medan den fjärde innehåller värden från Harcks artikel. Den tredje kolumnen anger också kvoten mellan mätningen för silversida respektive kopparsida. Beteckningen "tr" används när ett element detekteras tillförlitligt, men inte kan kvantifieras korrekt. Symbolen "-" används när elementet inte kan detekteras tillförlitligt. Ökad mättid kan, genom att minska det statistiska felet, förbättra mätningen så att ett "-" övergår till "tr" eller kvantifieras korrekt, och att "tr" i sin tur kan bli korrekt kvantifierat.

element	Skilling 1620, Hede 119 C, silversida	Skilling 1620, Hede 119 C, kopparsida
Cu	35,15855±0,00864	64,10488±0,00704
Ag	62,41573±0,00920	34,01994±0,00630
Pb	1,20843±0,00196	0,63455±0,00144
Sb	0,14495±0,00305	0,08420±0,00181
Zn	0,15987±0,00143	0,27595±0,00153
Bi	0,13064±0,00088	-
Fe	0,41912±0,00230	0,61067±0,00180
Ni	-	0,05243±0,00071
Co	-	-
W	0,25392±0,00194	0,07846±0,00169
Pd	-	-
Sr	0,00120±0,00011	-
Zr	0,00210±0,00013	-
Mo	0,00189±0,00016	0,00104±0,00014
Sn	0,10360±0,00525	0,13789±0,00318
Mn	-	-
Nb	-	-

Tabell 2. Koncentrationer som rapporteras av Olympus Vanta-programvaran.

Mätvärdena för kopparsidan överensstämmer väl mellan PyMca (se **Analys**) och de värden som rapporteras av Vanta-instrumentet. För silversidan – som består av mycket inhomogent material – är de värden som rapporteras av Vanta-instrumentet (baserat på proprietära algoritmer) generellt högre; summan av alla element utom Cu och Ag uppgår till 2,42% jämfört med 1,91 %. Detta beror förmodligen på att Vanta-instrumentets värden är normaliserade så att summan av samtliga element blir 100%.

“Koppar”-sidan

Den uppmätta silverhalten (Ag K) överensstämmer väl med det föreskrivna värdet. Ag L är något högre vilket indikerar att poleringen inte nådde tillräckligt djupt i vissa små områden. Dessa två toppar mäter olika djup (se **Mättdjup** nedan) in i myntet. Förutom Cu och Ag som tillsammans utgör 98% av myntet finns det ytterligare element som kan indikera ursprunget för den metall som används för att tillverka myntet (se tabell 3). Detta försvåras dock av att myntet består av en blandning av silver- och kopparmetall, troligen från olika källor. En viktig inkomstkälla för den danska staten var vid denna tid sundtullarna, som betalades av fartyg för passage genom Öresund. Enligt Wilcke (1919, s. 234) uppgick de genomsnittliga årliga inkomsterna under perioden 1621–1625 till 136 071 daler från sundstullen och 319 868 daler från hela räntekammaren. Det innebär att sundstullen utgjorde 30% av summan. För 1619 var motsvarande andel hela 48% och för 1620 29%.¹ Tullarna betalades i ett stort antal olika typer av guld- och silvermynt samt i salt (se bilaga 1). Den största delen utgjordes av dalermynt av olika ursprung, med en summa på 173 640 daler år 1619 och 154 589 år 1620 (STRO).

“Silver”-sidan

Silversidan består av ytterst ett tunt lager av nästan rent silver, med mycket små mängder av element som i stort sett inte påverkas av citronsyrans, exempelvis Au och Sb. Mättdjupet (se **Mättdjup** nedan) är dock större än tjockleken på det yttersta lagret, vilket innebär att den upp-

Tabell 3. Analyser av publice-rade silver- och kopparmynt i 18 artiklar (se **Bibliografin**) visar följande koncentrationer av de övriga elementen i mynt präglade 1500–1800.

Silvermynt						Kopparmynt				
metall	genomsn. konc. %	sigma	min	max	antal mynt	genomsn. konc. %	sigma	min	max	antal mynt
Au	0,12098	0,16446	-,003416	1,036	463	0,08967	0,07872	0,03000	0,35000	30
Pb	0,36008	0,44207	0,00000	2,490	368	0,50758	0,37559	0,01	3,170	784
Sb	0,03869	0,01918	0,0004	0,23500	379	0,24630	0,19822	0,01	1,050	744
Zn	0,04680	0,17846	-0,01478	2,230	342	0,24625	0,23719	0,04000	1,000	40
Bi	0,06921	0,11045	0,00000	0,72520	304	0,05970	0,04069	0,02000	0,21000	66
Fe	0,40697	1,147	0,003300	14,428	283	0,11307	0,17146	0,02000	1,660	613
Ni	0,02032	0,03297	-,005072	0,32294	203	0,12286	0,09711	0,03000	0,74000	567
As	0,02983	0,04481	0,00000	0,22900	223					
Br	0,38502	1,661	0,00000	9,984	47	0,01475	0,01035	0,00000	0,08000	461
Co	0,00092	0,00627	0,00000	0,04301	47	0,02000	0,01414	0,01	0,04000	4
W	0,00347	0,01359	0,00000	0,06117	47					
Pd	0,00390	0,01239	-,007279	0,05435	217					
Se					0					

1. Enligt Venge (1987, s. 231) utgjorde sundstullen 34% av statsinkomsterna 1602 och Jespersen (2004, s. 299) anger att sundstullen motsvarade 34,5 % av statsinkomsterna 1602 och 32,9 % år 1608.

element, grupp, energi	måtdjup i Ag	måtdjup i Cu	kvot
Au L 11,44	11,5 µm	7,4 µm	2,10
Sb K 26,36	18,7 µm	71,4 µm	1,26
Cu K 8,05	4,5 µm	21,6 µm	0,44
Zn K 8,64	5,4 µm	26,2 µm	0,22

Tabell 4. Måtdjup och kvot för silversida till kopparsida för utvalda element.

element	uppskattad koncentration %
Au	0,0611 ± 0,4100
Pb	0,5750 ± 0,0928
Sb	0,1198 ± 0,3240
Zn	0,0510 ± 0,1676
Bi	0,0398 ± 0,4058
As	0,0101 ± 0,2260
Br	0,0050 ± 0,00006
Se	0,0024 ± 0,2594

Tabell 5. Uppskattning av sammansättningen av det tunna "silver"-skiktet.

mätta koncentrationen även påverkas av koncentrationen i myntets kärna. Eftersom måtdjupet varierar med fotonenergin varierar kvoten mellan den uppmätta koncentrationen på silversidan och den på kopparsidan från element till element och är lägre vid ökat måtdjup (se tabell 4).

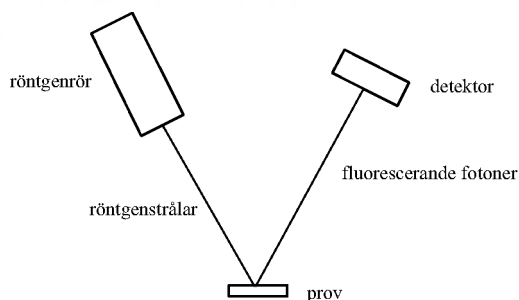
Andra element, särskilt Cu och Zn, är kraftigt utarmade i det ytersta lagret. De uppmätta halterna är dock något högre på grund av mätningen när in i myntets kärna. Br härrör troligtvis från resterna av en korrosionsprodukt. Kvoten mellan mätningarna av Ag K och Ag L, med vitt olika måtdjup, är en tydlig indikation på ytanrikning. Det preparerade myntet kan modelleras som ett tunt "silver"-lager ovanpå ett tjockare lager med den sammansättningen som anges av mätningen av "koppar"-sidan. Genom att justera lagrens tjocklek och jämföra ett Monte Carlo-simulerat² spektrum med det faktiska "silver"-spektrumet erhålls den bästa anpassningen för en tjocklek på 8,2 µm för det tunna "silver"-lagret. Vidare analys ger en uppskattade sammansättning av "silver"-lagret (se tabell 5).

Mätteknik

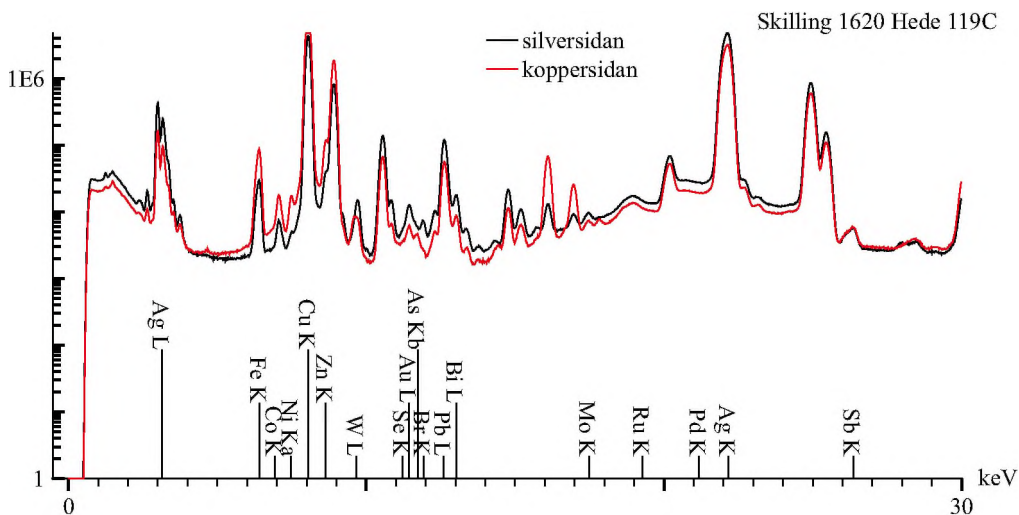
Introduktion till ED-XRF

Det finns ett flertal introduktionstexter till XRF, till exempel Bruker (2016) och Bezur et al. (2020). Här ges endast en mycket kort sammanfattning. Vid XRF träffas provet av röntgenstrålar från ett röntgenrör. Dessa röntgenstrålar kan antingen absorberas, spridas eller transmittas av provmaterialet. När en elektron absorberas av en atom i provet trycks den till en mer instabil högre orbital och när den rör sig tillbaka till en lägre orbital avges överskottsenergin som en fluorescerande foton. Energin är karakteristisk för elementet och övergången; varje övergång har en specifik intensitet. Övergångarna mellan skalerna är namngivna och i Niels Bohrs modell betecknas skalerna K, L, M o.s.v. Varje skal har ett antal underskal. Energin från övergångsfotonerna detekteras och motsvarande grupp toppar i det detekterade spektrumet betecknas K, Ka, Kb, L, L1, L2, L3, o.s.v. En "topp" kan bestå av flera mindre toppar med något olika energier. Ibland kan exempelvis K-"toppen" användas för mätningen; i andra fall ger Ka eller Kb bättre resultat eftersom den kan ligga längre från topparna hos andra element.

Figur 2. Förenklad skiss av ett XRF instrument.



2. En typ av matematiska algoritmer som bygger på slumpetal för att lösa vissa problem som är svåra att lösa med deterministiska metoder.



Figur 3. Uppmätta spektra med några markerade toppar.

Utifrån topparnas storlek beräknas elementkoncentrationerna. Instrumentets programvara utför denna beräkning med hjälp av proprietära algoritmer, anpassade för olika typer av prover, till exempel ädelmetaller, metallegeringar och jordprover. Spektrumet kan vanligtvis exporteras och analyseras med hjälp av annan programvara. I många fall är beräkningen mer detaljerad och ger därför ett bättre resultat, men den kräver också mer datorresurser.

Måtdjup

När de utsända fluorescerande fotonerna (röntgenstrålningen) passerar genom det prov som mäts absorberas en del och når därför inte detektorn. Absorptionen varierar beroende på det provmaterial som passerar och på fotonens energi, vilket ger ett specifikt måtdjup för en viss linje. För en vitkokat billonmynt har linjerna ett måtdjup på 2 μm för Ag L och 70 μm för Ag K i rent silver, respektive 2 μm för Ag L och 44 μm för Ag K i ren koppar.

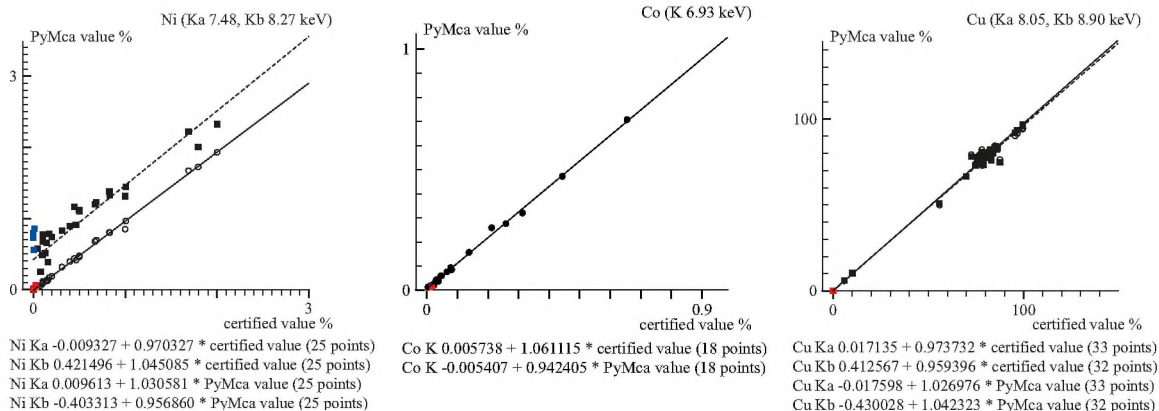
Som exempel kan vi betrakta ett prov bestående av ett 8 μm tjockt lager av 85% Ag och 15% Cu ("silverlagret") och ett 414 μm tjockt lager av 30% Ag och 70% Cu ("kopparlagret"). En Ag L-topp, med ett måtdjup på 2 μm , mäter endast den översta fjärdedelen av "silver"-lagret och ger således en noggrann mätning av Ag i detta lager. En Ag K-topp med ett måtdjup på 52 μm mäter däremot hela "silver"-lagret samt 44 μm av "koppar"-lagret, och ger därför en uppmätt Ag-halt som ligger närmare värdet för "koppar"-lagret. En Au L-topp med ett måtdjup på 10 μm ger en mätning av Au-halten som ligger nära Au-innehållet i "silver"-lagret, eftersom endast en liten komponent härrör "koppar"-lagret. En Sb K-toppen med ett måtdjup på 36 μm ger däremot en mätning av Sb närmare den för "koppar"-lagret.

Använt ED-XRF-instrument

Utrustningen som användes var ett handhållet Olympus Vanta VMR CCC A3 E-instrument med inställningarna 40 kV, 25,6 μA och med ett 2 mm Al-filter. Mättiden var 900 sekunder i realtid.

Analys

Istället för att använda resultaten från instrumentet analyserades mät-spektra med programvaran PyMca (Solé et al. 2007). Programmet an-



vänder Fundamental Parameters-metoden, som omvandlar de uppmätta topparna till koncentrationer med hjälp av atomparametrar såsom atombindningsenergies, fluorescensutbyten och absorptionsvärden. Metoden kräver detaljerade instrumentparametrar, såsom geometri, röntgenrörsspektrum och detektorinformation, vilka anges i en konfigurationsfil. Input till PyMca utgörs av konfigurationsfilen, som också innehåller en lista över de toppar för vilka en resultatkoncentration önskas, samt det spektrum som ska analyseras.

För att verifiera resultaten och tillhandahålla kalibrering mättes en omfattande uppsättning certifierade referensmaterial (CRM, d.v.s. prov med en exakt känd sammansättning). Exempel på spridningsdiagram av PyMca -resultatet kontra det kända CRM-innehållet visas i Figur 4. För varje element av intresse och för den grupp som ger det mest exakta resultatet utfördes en linjär minstakvadratanpassning av uppmätta värden och motsvarande certifierade koncentration. Detta gav en kalibreringskurva. Observera att för Ag anpassades både K- och L-grupperna separat, eftersom dessa har mycket olika mättdjup och därmed kan ge en indikation på ytanrikning. Kalibreringsmetoden för mätvärden från Heginbotham et al. (2017 & 2019) användes.

Uppskattningen av tjockleken på det tunna "silver"-skiktet uppnåddes genom Monte Carlo-simulering, genom att generera spektra bestående av två lager; ett bestående av Ag 80% och Cu 10% och ett tjockare med den uppmätta sammansättningen av "koppar"-sidan. XMI-MSIM-verktyget i PyMca användes för att generera dessa spektra för olika tjocklekar på det tunna skiktet, och den bästa anpassningen ger en god uppskattning av den faktiska tjockleken. Motsvarande spektrum subtraherades därefter från det uppmätta spektrumet för "silver"-sidan, varefter en PyMca-anpassning utfördes. Detta gav en uppskattning av det tunna skiktets sammansättning.

Slutsatser

Analys av billonmynt och andra inhomogena material kräver stor noggrannhet samt tillgång till flera elementgrupper, något som vanligtvis inte finns tillgängligt i instrumentets programvara. Ag K och L är viktiga exempel vid analys av "silvermynt". För "silver"-sidan anger mätinstrumentets programvara en Ag-halt på 62,42%, medan en analys av spektrat ger Ag L 88,36% och Ag K 51,53%. Mätinstrumentets värde ligger alltså ungefär en tredjedel av vägen mellan Ag K och Ag L. Det "korrekta" värdet för myntets kärna är 32,19%, vilket är betydligt lägre än både värdet från mätinstrumentet och Ag K-halten. Det enda man med säkerhet kan

Figur 4. Exempel på kalibreringskurvor.

För Ni visas kalibreringen för Ka (öppna cirklar) och Kb (fyllda kvadrater);

Ka ger tydligt de mer exakta resultaten.

Co-kalibreringskurvan visar att mätningen är precis även vid mycket låga koncentrationer.

såga om kärnans Ag-halt, baserat på mätningen av "silver"-sidan, är att den är lägre än både mätinstrumentets värde och Ag K-värdet.

Mätningen av Hede 119A gjordes med ett instrument tillverkat av Bruker (S1 Turbo SD) och med dess programvara ges Ag-halten 73,40%. Skillnaden mellan 62,42% och 73,40% kan förklaras med användandet av olika proprietära algoritmer, som ger olika resultat för kraftigt inhomogena material. Det är dock tydligt att skillingen 1619, Hede 119A, högst osannolikt är en kroneskilling, utan snarare ett billonmynt, eftersom den uppmätta Ag-koncentrationen på 73,4% är betydligt lägre än den föreskrivna 85,9%.

Tack

Joosje van Bennekom, Senior Conservator, Rijksmuseum, Amsterdam, mätte vänligen myntet och tillhandahöll både myntets spektra för analys och spektra från ett flertal CRM för jämförelse. Anders Harck tackas för utförliga kommentarer, särskilt för avsnittet Mätteknik, som bidrog till att göra innehållet förståeligt för personer som är nya inom XRF. Inger Bolt Jørgensen och Sven Aagaard tackas för referenser till Øresundstullens andel av den danska statens inkomster.

Betalning i	summa 1619	summa 1620
Rosenobel	8941.5	9187
GuldGylden	754,5	368
Rhinsk Gylden	1	0
Doppelte Dukater	0	11.5
Daler	173640	154589
Ort	1132.5	1022.5
Mark	8996.5	7599
Slet Mark	0	56.5
Skilling	49695	42679.5
Tønder (tunnor) salt	1542	1656

Bilaga 1. Tullbetalningar åren 1619 och 1620. Data från Sound Toll Registers Online.

Bibliografi

- Bezur, A., Lee, L., Loubser, M. & Trentelman, K., *Handheld XRF In Cultural Heritage. A Practical Workbook for Conservators*, Getty Conservation Institute, Los Angeles, CA, 2020.
- Bruker, *Introduction to X-ray Fluorescence Analysis (XRF)*, Bruker Corporation, Billerica, MA, 2016.
- Harck, A., Oprindelsessted for Christian IV's denninge - belyst ved metalundersøgelser, *Numismatisk Rapport* 150 2021, s. 5–10.
- Hede, H. *Danmarks og Norges Mønter 1541-1814-1963*, Munksgaard, København, 1964.
- Heginbotham, A. & Solé, V., A., CHARMed PyMca, part I: A protocol for improved inter-laboratory reproducibility in the quantitative ED-XRF analysis of copper alloys, *Archaeometry* 59(4) 2017, s. 714–30.
- Heginbotham, A., Bourgarit, D., Day, J., Dorscheid, J., Godla, J., Lee, L., Pappot, A. & Robcis, D., CHARMed PyMca, Part II: An evaluation of interlaboratory reproducibility for ED-XRF analysis of copper alloys, *Archaeometry* 61(6) 2019, s. 1333–1352.
- Jespersen, L., Adelsvældens skatter 1536–1660, *Dansk Skattehistorie III*, Told- og Skattehistorisk Selskab, 2004.
- Solé, V., A., Papillon, E., Cotte, M., Walter, Ph. & Susini, J., A multiplatform code for the analysis of energy-dispersive X-ray fluorescence spectra, *Spectrochimica Acta Part B* 62 2007, s. 63–68.
- STRO, Sound Toll Registers Online, <https://www.soundtoll.nl>.
- Venge, M., Fra åretold til toldetat. Middelalderen indtil 1660, *Dansk Toldhistorie I*, Toldhistorisk Selskab, 1987.

Wilcke, J., *Christian IV's møntpolitik 1588-1625*, Numismatisk forenings forlag, København, 1919.

Metallanalysdata: silver

- Besly, E. & Cowell, M., The metrology of the English Civil War coinages of Charles I, *British Numismatic Journal* 61 1991, s. 57–75.
- Gentelli, L., *Analysis of 16th to 19th Century Silver Coins*, The University of Western Australia, Crawley, 2017.
- Gondonneau, A., Nicolet-Pierre, H. & Guerra, M. F., The Persian and Macedonian gold. From Darius to Alexander the Great, *Archaeometry* 98 2002, s. 369–374.
- Guerra, M. F., The circulation of South American precious metals in Brazil at the end of the 17th century, *Journal of Archaeological Science* 31 2004, s. 1225–1236.
- Kantarelou, V., Ager, F. J., Eugenidou, Despoina, Chaves, F., Andreou, A., Kontou, E., Katsikosta, N., Respaldiza, M.A., Serafin, P., Sokaras, D., Zarkadas, Ch., Polikreti, K. & Karydas, A., X-ray Fluorescence analytical criteria to assess the fineness of ancient silver coins: *Application on Ptolemaic coinage*, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 66 2011, s. 681–690.
- Khak, P., Khademi, F., Neyestani, J. & Kouhpar, S.M., Elemental comparison of silver coins of Iranian Seljuk with those of Roman empire by PIXE, *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 13 2013, s. 321–328.
- Khranchenkova, R., Shaykhutdinova, E., Bugarchev, A., Gareev, B. & Sitdikov, A., Interdisciplinary study of 13th century silver coins of the Juchid (based on the materials of the Burundukovsky hoard, Tatarstan, Russia), *ACTA IMEKO* 6 nr 3 2017, s. 94–111.
- Ladurie, E., Barrandon, J.-N., Collin, B., Guerra, M. & Morrisson, C., Sur les traces de l'argent du Potosí, *Annales ESC* 45-2 1990, s. 483–505.
- Linke, R., Schreiner, M., Demortier, G., Alram, M., Determination of the provenance of medieval silver coins: Potential and limitations of x-ray analysis using photons, electrons or protons, *X-Ray Spectrometry* 32 2003, s. 373–380.
- McKerrell, H., Stevenson, R.B.K., Some Analysis of Anglo-Saxon and Associated Oriental Silver Coinage, Methods of Chemical and Metallurgical Investigation of Ancient Coinage, *Special Publication* 8, Royal Numismatic Society, London 1972, s. 195–209.
- Moreno-Suárez, A., Ager, F.J., Scrivano, S., Ortega-Feliu, I., Gómez-Tubío, B. & Respaldiza, M., First attempt to obtain the bulk composition of ancient silver-copper coins by using XRF and GRT, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 358 2015, s. 93–97.
- Sarah, G., Analyses élémentaires de monnaies de Charlemagne et de Louis le Pieux du Cabinet des Médailles: le cas de Melle, *Recherches et Travaux de la Société d'Études Numismatiques et Archéologiques* 2 2009, s. 63–83.
- Sarah, G., Bompaire, M., McCormick, M., Rovelli, A. & Guerrot, C., Analyses élémentaires de monnaies de Charlemagne et Louis le Pieux du Cabinet des Médailles: l'Italie carolingienne et Venise, *Revue Numismatique* 6 2008, s. 355–406.
- Sarah, G., *Caractérisation de la composition et de la structure des alliages argent-cuivre par ICP-MS avec prélèvement par ablation laser. Application au monnayage carolingien*, The University of Orleans, Orleans 2008.
- Smit, Z & Semrov, A., Analysis of Greek small coinage from the classic period, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 417 2017, s. 100–104.
- Teboulbi, A., Bompaire, M. & Barrandon, J.-N., Les monnayages d'Alphonse de Poitiers. Étude par analyses élémentaires [Comparaison avec le monnayage antérieur de Toulouse], *Revue numismatique* 6 2008, s. 65–127.
- van Bennekom, J., *ED-XRF of Latin American and European Silver Coins*, unpublished, 2021

Metallanalysdata: koppar

Pelsdonk, J., Traces of Copper, *Jaarboek voor Munt- en Penningkunde* 110 2023, s. 161–230.