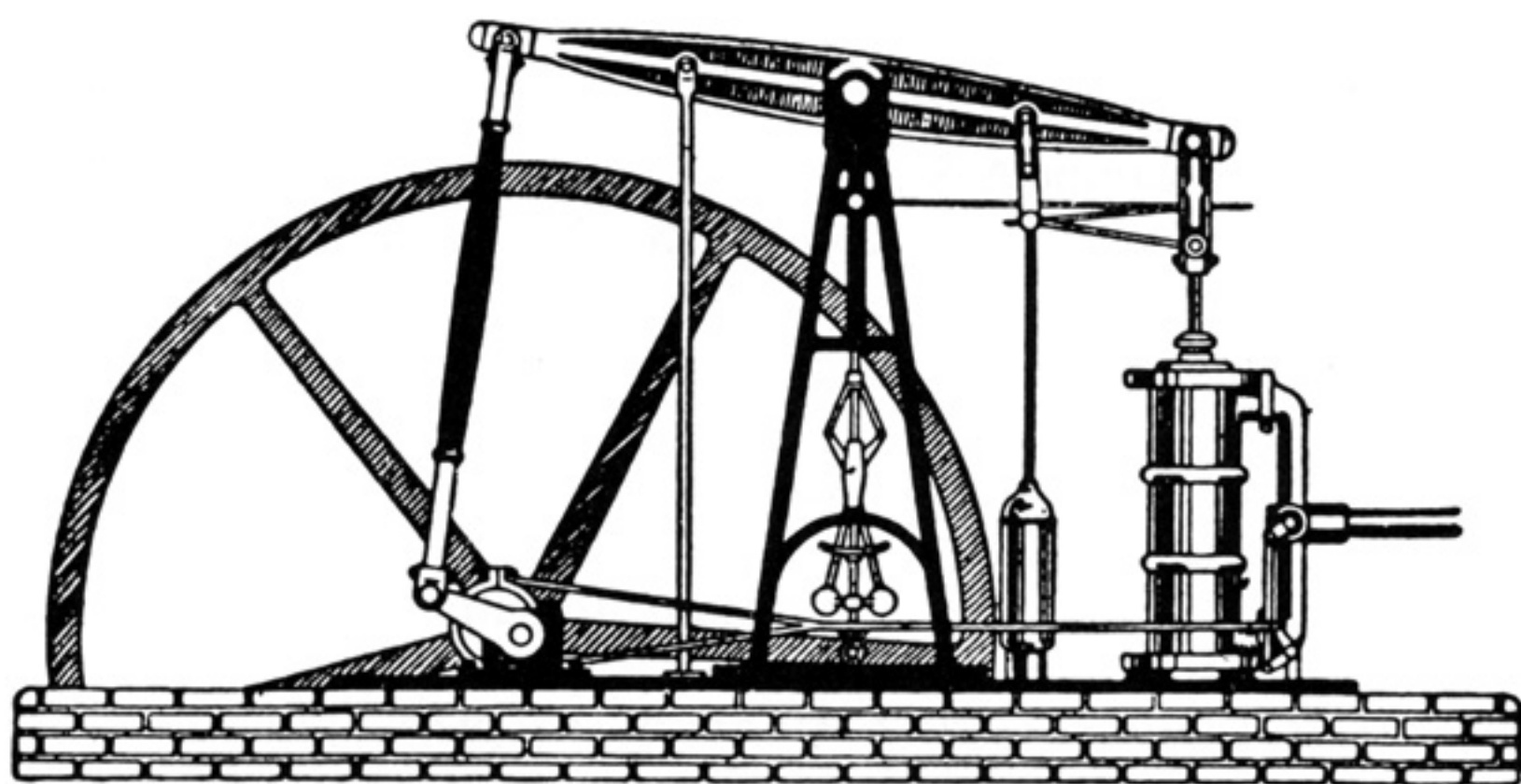


DANMARKS TEKNISKE MUSEUM

ÅRBOG 1988



Danmarks tekniske museum



ÅRBOG 37. ÅRGANG

Udgivet af
Danmarks tekniske museum
Helsingør 1989

Forside: *Illustration af kanoner fra 1400-tallet. Kuglerne ligner store sten og kanonerne tønder. Fra⁴.*

Bagsiden: *Ældste billede af kanon. Billedet findes i et håndskrift fra 1326 af Walter de Milemete, bisp i Cornwall under Edward III af England. Håndskriftet har titlen: »De Notabilitatibus, Sapientis, et Prudentia Regum«, eller »Om bemærkelsesværdig, fornuftig og klog krigsførelse« og findes i dag i Oxford. Man ser en pæreformet kanon, som ligger på et bord. En prægtigt klædt person med et måske arabisk udseende affyrer tilsyneladende kanonen ved hjælp af en glødende nål, som han har stukket i fæng-hullet. Ud af løbet kommer en pil. Pile og sten blev ofte brugt i de ældste kanoner, eller kugler af jern, bly, brændende ting og spræng-granater. Håndskriftet omtaler i øvrigt ikke kanonen, men anden våbenteknologi^{1,2,3}.*

Indholdsfortegnelse

Forord	4
»Om Krudtets og Salpetersydningens historie« af Rolf W. Berg	5
DANMARKS TEKNISKE MUSEUM	
Repræsentantskab	45
Bestyrelse	47
Museets personale	48
Museets samlinger	48
Udstillinger	49
Besøgstal	55
Museumsgenstande modtaget i 1988	56
Økonomisk støtte til museet Helsingør afd. ...	61
Økonomisk støtte til museet Aalborg afd.	62
SELSKABET FOR DANMARKS TEKNISKE MUSEUM	
Bestyrelse	63
Medlemsfortegnelse	63
SELSKABET FOR DANMARKS TEKNISKE MUSEUM AALBORG AFD.	
Bestyrelse	71
Medlemsfortegnelse	71
ADRESSER	
Danmarks tekniske Museum	73
Selskabet for Danmarks tekniske Museum	73
Selskabet for Danmarks tekniske Museum Aalborg afd.	73
Efter kontortid	74
REGNSKABER	
Museets regnskab Helsingør	76
Selskabets regnskab	78
Museets regnskab Aalborg	80
Aalborg Selskabets regnskab	82
Indmeldelsesblanketter	83,85

Forord

Danmarks tekniske Museums årbog udsendes hermed for 37. gang.

Årbogen udsendes til medlemmer af museets støtteorganisation, Selskabet for Danmarks tekniske Museum, som i marts 1989 har ændret navn til Teknisk Museums Venner, og endvidere til virksomheder, organisationer, offentlige myndigheder og enkeltpersoner, der på forskellig vis støtter museet. Årbogen sendes også til en række biblioteker, tekniske skoler m.fl.

Afhandlingen i årbogen har titlen »Om Krudtets og Salpetersydningens historie« og er skrevet af civilingeniør Rolf W. Berg.

Helsingør, juli 1989.

Jens Breinegaard

Om Krudtets og Salpetersydningens historie

Bidrag til en beskrivelse af teknikkens historie.

af Rolf W. Berg

»Af alle ting skabte af den højeste Gud – eller af Naturen efter hans ordre – er der – end ikke blandt ting så små som et atom eller den mindste orm – noget, som er skabt uden en særlig gave. Og hvis vi ikke altid erkender dette i alting, så ligger årsagen i vores dårlige syn, i vores ringe viden og i vores mangel på omhyggelig forståelse af nødvendigheden af at søge efter de skjulte ting«.

Vannoccio Biringuccio

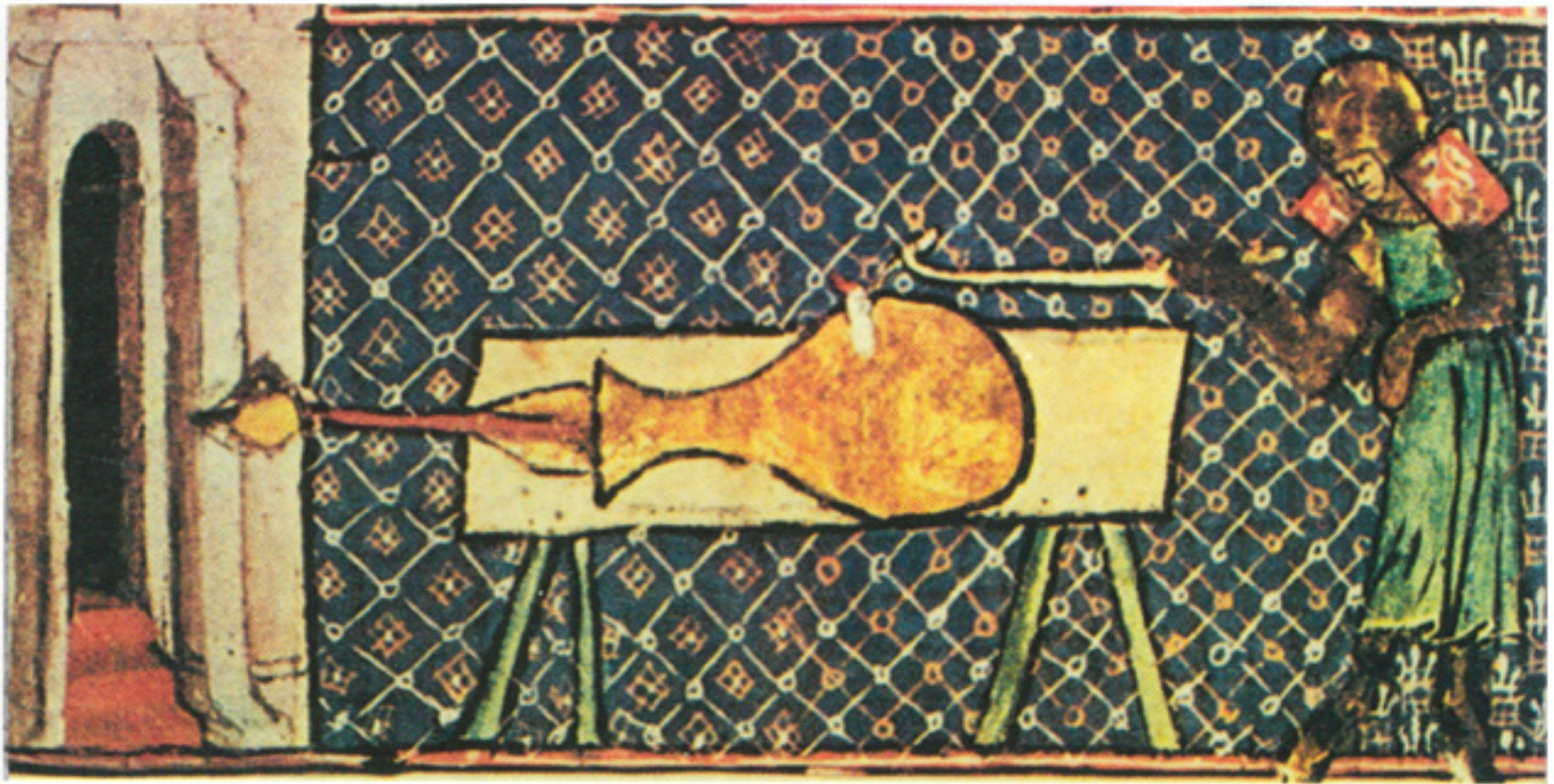
ADVARSEL: For en sikkerheds skyld må det bemærkes, at det er den erkendelsesmæssige side af krudtets kemi, som interesserer os her. Alle skal advares mod misbrug af denne erkendelse:

KRUDTBLANDING UDEN SÆRLIG TILLADELSE ER FORBUDT VED LOV. EKSPLOSIVE STOFFER ER FARLIGE SAGER, SOM IKKE BØR FREMSTILLES ELLER ANVENDES AF UAUTHORISEREDE ELLER UKYNDIGE.

Krudtets historie viser også dette på tydeligste vis. Mange, selv meget erfarne krudtblandere er i tidens løb blevet slået ihjel eller lemlæstet.

Jeg vil gerne benytte lejligheden til at takke Niels Bonde, Nationalmuseets Naturvidenskabelige Afdeling, professor emeritus Niels Hofman-Bang samt Rasmus Fehrmann, Niels J. Bjerrum og Hans Peter Jensen, Danmarks Tekniske Højskole for venlig bistand ved arbejdet.

Rolf W. Berg



Figur 1. Ældste billede af kanon. Billedet findes i et håndskrift fra 1326 af Walter de Milemete, bisp i Cornwall under Edward III af England. Håndskriftet har titlen: »De Notabilitatibus, Sapientis, et Prudentia Regum«, eller »Om bemærkelsesværdig, fornuftig og klog krigsførelse« og findes i dag i Oxford. Man ser en pæreformet kanon, som ligger på et bord. En prægtigt klædt person med et måske arabisk udseende affyrer tilsyneladende kanonen ved hjælp af en glødende nål, som han har stukket i fæng-hullet. Ud af løbet kommer en pil. Pile og sten blev ofte brugt i de ældste kanoner, eller kugler af jern, bly, brændende ting og spræng-granater. Håndskriftet omtaler i øvrigt ikke kanonen, men anden våbenteknologi^{1,2,3}.

Indledning

Der er næppe tvivl om, at det sorte krudt er det ældst kendte skyde- og sprængmiddel*, men oprindelsen fortaber sig i historiens mørke. Måske stammer det fra Indien. Ingen ved det mere, for de få kilder, der findes, er uenige herom og ganske givet ikke særligt pålidelige. Men det er givet, at kineserne omkring år 1050 kendte til krudtlignende blandinger af salpeter og kul og f.eks. brugte det til illuminationer og måske fyrværkeri og raketter. Dette synes at fremgå af gamle kinesiske skrifter og billeder^{1,4}.

Når man beskæftiger sig med kemiens historie, eller skal vi sige »den kemiske viden i fortiden«, er der nogle ting, man må gøre sig klart. Man må huske på, at så snart det drejer sig om tiden før bogtrykkerkunstens opfindelse, d.v.s. før omkring år 1448, er vor viden ofte ret usikker og sporadisk. Mange af de kemiske skrifter, der findes bevarede, er skrevet for en meget snæver kreds, d.v.s. forfatteren selv og måske hans »arbejdsgiver« og andre folk, som han personlig kendte. Altså for folk, som vidste, hvad de anvendte alkemiske skriftegn og betegnelser betød og dækkede over.

Dengang kendte man jo ikke de kemiske grundstoffer og atomtegn, sådan som man gør det i dag. I stedet opererede man med vidtløftige teorier f.eks. om de fire elementer:

Jord, luft, ild og vand.

Alle stoffer måtte opfattes som passende blandinger heraf.

Trangen var stor til at hemmeligholde ens egen måske dyrekøbte erfaring, indsigt og viden, idet der jo – ligesom i vore dage – sædvanligvis var store økonomiske interesser involveret i sagerne. Man havde derfor en interesse i at formulere sig uklart. Så man selv og ingen andre kunne forstå, hvad det handlede om. Endelig er der det forhold, at mange skrifter kun er kendt i afskrift, og endda sommetider afskrevet af tydeligvis kemisk ukyndige skriverkarle.

Der skal i det følgende gives en gennemgang af, hvad vi ved om:

* Krudtets tidligste kemiske historie

* Salpetersydningens historie.

Vi vil undervejs berøre beslægtede emner og nævne nogle

* se appendix.

konklusioner, som vi kan drage. Den vigtigste lære vi undervejs vil drage er:

- * Hvor dygtige kemikere egentlig var i gamle dage
- * Hvor vigtig forståelse af kemi er for god teknologi og herunder også et reduceret energiforbrug
- * Hvor lidt andel videnskaben har i menneskets krigslyst (teknologi kommer ofte før en forståelse heraf).

Hvad er krudt?

I vore dage lærer man i skolen, at krudt består af en blanding af trækul, svovl og salpeter (KNO_3 = kalisalpeter = kaliumnitrat). Salpeter er hovedbestanddelen, og den har den funktion – ligesom luften ved en almindelig forbrænding – at levere den mængde oxygen (ilt), der behøves til forbrændingen af kullet og svovlet.

Denne viden, hvor har man egentlig den fra?

Kemiens tidligste historie

Kemiens tidligste historie fortæller sig i oldtiden, og vor viden herom er indirekte og usikker. Stenaldermennesket har muligvis ikke haft megen kemisk viden, men allerede de ældste skriftlige kilder, vi kender, indeholder klare vidnesbyrd om kemi. Således er Biblen fyldt med henvisninger til f.eks. salver, metaller og andre kemiske produkter. De gamle papyrus-bogruller fundet i Ægyptens pyramider røber bl.a. faraonernes indgående kendskab til kemi; et kendskab, som de bl.a. havde lært fra Babylon, Indien og Kina, og som de gjorde god brug af f.eks. ved balsameringer og ved fremstilling af de farver, som pyramide-gravkamrene blev bemalt med⁵.

Under den klassiske græsk-romerske kulturs indflydelse før og omkring vor tidsregnings begyndelse (bl.a. ved det universitetslignende Museion i Alexandria) udviklede kemien sig betragteligt. Et vigtigt led var forbedringen af glasvarerne, hvorved fremstilling af renere og skrappere kemikalier blev muliggjort. Det er jo svært at lave kemi uden glasvarer, – lerskåle er meget svære at rense.

Senere – især ved arabisk indsats omkring år ca. 800 – lykkedes

* se appendix.

det formentlig ved destillation at fremstille bl.a. salpetersyre. Det er sikkert nok ikke alene arabertallene, matematikken og astronomien, som vi må takke de islamiske (muhamedanske) kaliffer i Bagdad for.

Den arabiske alkemis betydelige kemikere var bl.a. Djaber (den ægte Geber, født måske ca. 740) og al-Razi (Rhazes, ca. 850-927), som skrev lærebøger om kemiske teorier, fremgangsmåder og stoffer. Disse bøger er i store træk gået tabt – som bøger jo gør i nærheden af kemi – og samtidig findes der en del falske bøger af langt nyere dato, der tilskrives Geber og Rhazes. Det er derfor usikkert i hvor stort omfang disse arabiske kemikers viden faktisk har overgået den mange hundrede år ældre græsk-romerske indsigt i tingene. Givet er det, at kemien fra omkring år 12-1300 får en betydelig fremgang via den begyndende europæiske renæssance og den ny videnskabelige indstilling til verdensopfattelsen, som dette medførte.

Udviklingen af krudtet

Krudtet er muligvis ikke en europæisk opfindelse. Kineserne har kendt til salpeterets brandnærende egenskaber og formentlig også til krudtet⁴. Vor viden er usikker: Salpeter betyder jo blot jordsalt, og karakteriseringen af stofferne i gamle kilder er højst uvis. Vi må gå efter stoffernes beskrevne virkning og så slutte os baglæns til, hvad der kan være tale om.

Den første europæiske omtale af *salpeter* skyldes sandsynligvis den spansk-arabiske (mauriske) kemiker al-Baytâr (død 1248), som meget tankevækkende kalder det »kinesisk sne«¹.

En vis *Marcus Graecus*, der måske levede omkring midten eller slutningen af 1200-tallet (nøjere tidspunkt kendes ikke og måske dækker navnet over flere forfattere), synes at have skrevet en bog »Liber Ignium ad Comburendos Hostes«, altså en latinsk bog om »Ild til at brænde fjender«^{1,5,6}. Flere afskrifter af værket kendes, og det indgår i andre bøger.

Heri omtales en række opskrifter om »græsk ild«. Denne betegnelse dækker formentlig¹ over en art fakler, bomber eller brandpile, der muligvis har været gennemvædede med en letantændelig olie. I visse anvendelser har der måske været tale om sprøjtning af brændende petroleum. Karakteristisk synes det at

være, at »græsk ild« ikke har kunnet slukkes med vand, men måtte kvæles med f.eks. sand. Sådanne effektive ildvåben, afskudt med buer eller katapult, etc. har været beskrevet flere gange i litteratur siden ca. 700-tallet¹, men man kan ikke tale om, at det er krudt.

Europæiske kristne riddere skal på det tredje korstog til Det hellige Land i 1100-tallets slutning have været udsat for angreb med »græsk ild«, hvis ingredienser af araberne blev strengt hemmeligholdt (dødsstraf). I Byzantinsk som i al anden krigsførelse lod man sig ikke nøje med de blideste virkemidler: Der er beretninger om, at man med katapult har sendt snart sagt alt det ækle man kunne finde på af sted imod fjenden, inklusive levende skorpioner og giftslanger i kurve samt giftige kemikalier, så som støv af brændt kalk, der virker kvælende og ætsende og får tårer til at vælde frem¹.

Det mest interessante ved Marcus Graecus er, at han giver den nok ældst kendte umiskendelige omtale af salpeter og *brugen heraf i explosive blandinger og sort krudt*. Efter hans opskrift nr. 12 (også om krudt), står der i nr. 13 således:

»Den anden måde at lave »flyvende ild« på udføres sådan. Tag et pund naturligt svovl, to pund trækul fra lind eller pil og seks pund »sal petrosum«, alle tre dele godt blandede på en marmorsten. Derefter har man fornøjelse af pulveret i et hylster til flyvning (raket) eller til at lave torden«.

Det anføres, at hylsteret til flyvning skal være langt og snævert og fyldes med godt pakket pulver. Til tordenskrald skal hylsteret være kort og tykt, halvt fyldt med pulver og bundet solidt til i begge ender med jerntråd (vi er her meget tæt på den klassiske bombekonstruktion).

I opskrift nr. 14 står der på latin nærmere om salpeter:

»Bemærk at »sal petrosum« er et mineralstof fra jorden, og det findes i udblomstringer på sten. Dette stof opløses i kogende vand, renses ved filtrering og der indkoges i et døgn, hvorefter det (salpeteret) findes udskilt på bunden af karret som gennemsigtige saltplader«.

En ret præcis beskrivelse, og givetvis en yderst anvendelig opskrift for en fagmand. Der er dog ingen oplysninger om, hvor dette jord findes (nær gødning eller urin), endsige rare bemærkninger

om brug af aske. Uden asken med dens indhold af kalium vil udbyttet nemt blive forsvindende eller komme til at bestå af andre stoffer, såsom calcium nitrat eller sulfater og chlorider af natrium⁷.

Den banebrydende *Roger Bacon* (1214-1292), der bl.a. virkede som munk, filosof og forsker i England på det da nyoprettede Oxford Universitet, er ofte blevet udlagt som krudtets opfinder. Det er ikke til fuldstændig at udelukke, at det kan være ham, men det er næppe sandsynligt. I alt fald er hans bevarede skrifter ganske spændende læsning. Bacon skelner mellem spekulativ alkemi og praktisk alkemi, og især den sidste finder han nyttig og værdifuld.

Af særlig interesse i vor sammenhæng er det, at han i sit autentiske værk »Opus Majus« fra årene før 1268 beretter om:

».....drengegreger, der udføres mange steder i verden. Ved hjælp af en genstand ikke større end en mands tommelfinger og ved anvendelse af kraften fra det salt, der kaldes »sal petrae«, kan laves sådan en forfærdelig larm ved sønderrivning af så lille en ting, som lidt pergament, at det føles at overgå selv larmen af kraftig torden, og dets lys overgår de største lynglimt«.

Roger Bacon sendte på pavens opfordring sine manuskripter til Vatikanet for at få tilladelse til offentliggørelse (imprimatur), men dette blev nægtet. Tværtimod kom han snart herefter i vanskeligheder under en ny pave og har formentlig efter år ca. 1269 været holdt i en slags husarrest i forskellige klostre i resten af sit liv. Vatikanet har formentlig stadig hans breve og skrifter liggende.

I et andet værk, også fra ca. 1268, »Opus Tertium«, der kun delvis er offentliggjort, nævner Roger Bacon igen explosive legesager. Han nævner her, at deres indhold var en blanding af salpeter, trækul og svovl.

Endelig kendes et meget berømt skrift af Roger Bacon »Epistolae De Secretis Operibus Artis et Naturae et de Multitate Magiae«, hvori en række bemærkelsesværdige opdagelser (ny på den tid) omtales. Det interessante sted er skrevet i kode (et anagram):

»Item pondus totum sit 30. Sed tamen sal petrae LURU VOPO VIR CAN VTRIET sulphuris; et sic facies tonitruum et coruscationem, si scias artificium«.

Problemet er de fem fremhævede ord midt i den ellers ordinære latinske tekst. Mange har forsøgt at tyde disse tyve bogstaver. Et karakteristisk forslag skyldes H.W.L. Hime (1914): ...R(ecepie) VII PART(es), V NOV(elle) CORUL(IK) V ET.... hvorefter teksten kan oversættes således:

»Lad hele vægten være 30. Men tag af salpeter VII DELE, V AF FRISK HASSELTRÆ OG V AF svovl, og således kan man lave torden og lyn, hvis man kender kunsten«.

Vi kan imidlertid ikke være sikre på, at det er den rigtige fortolkning. Faktisk er det for lidt salpeter og for meget svovl, mens Marcus Graecus's opskrift er meget nærmere ved den optimale virkning. En anden mulighed er, at dele af manuskriptet kan være tilføjet ved en senere afskrivning og derfor måske uægte^{1,5}.

Det er troligt, at Roger Bacon har kendt til krudtet fra andre kilder, f.eks. fra en kopi af Marcus Graecus's førømtalte ildbog, som formentlig er lidt ældre. Han kan også have haft sin viden fra arabiske kemikers skrifter. Vi ved fra hans biografi, at han beherskede både standardsproget latin og noget arabisk. Dette vanskelige sprog havde han lært sig at læse under et ophold i maurernes arabiske Spanien.

Gamle legender omtaler en (tysk?) franciskanermunk ved navn *Berthold Schwartz*, der skulle have levet i midten af 1300-tallet eller i begyndelsen af 1400-tallet. Han hævdes i legenderne at være krudtets opfinder, men intet vides herom. Tværtimod synes det ret sikkert, at alle disse legender er opspind, opstået af tysk nationalfølelse¹. Legende-magerne kan afsløres, fordi de ikke har vidst, at krudtet længe forinden havde været kendt i England og Italien. Se figur 2, der viser en fremstilling af sagnfiguren Schwartz.

Det fremgår indirekte af Roger Bacons skrifter, at han ikke synes at have ment, at hans viden om krudt var særlig revolutionerende. På den anden side lavede han ret systematiske forsøg på omtrent den tid, da egentligt krudt kom frem i Europa.

Hvis Roger Bacon faktisk har opfundet krudtet, har han som munk i en tid, hvor inkquisitionen var under opsejling, næppe turdet fortælle det direkte i sine skrifter.

Vi kan i hvert fald med sikkerhed konstatere, at man *fra slutningen af 1200-tallet*, blandt kemisk erfarne folk som Roger Ba-

con og kolleger, har kendt til raketter og kanonslag. Man har vidst, hvordan man kan lave salpeter, hvilket ingenlunde er simpelt^{7,8}. Og man kendte til det rette blandingsforhold mellem salpeter, svovl og trækul, der er nødvendigt til frembringelsen af det eftertragtede sorte krudt-pulver.



BERTHOLD, SCHVARTZ,

Figur 2. Mange legender omtaler en munk ved navn Berthold Schwartz, som skulle have opdaget krudtet. Der er stor sansynlighed for, at disse historier er opspind, se diskussionen heraf i¹. Billedet er gengivet efter⁹.

Skydevåbnenes tidligste historie

Krudtet skulle jo senere få stor militær betydning i Europa. Det har undertiden været hævdet, at opfindelsen af ildvåbnene betød en revolution i krigsførelsen. Dette gælder ikke for 1300- og 1400-

tallets middelalder, men måske nok senere, i 1500-tallet og fremad.

Man hører om de første kanoner i 1300-tallet, nærmere bestemt i år 1326, hvor de dels omtales i et italiensk papir, dels afbildes i England¹. Bystyret i Firenze udsendte d. 11. februar 1326 et dekret om, at der skulle indkaldes folk til at lave en metalkanon og jernkugler til at forsvare småstatens byer og borge. Det første billede af en kanon findes i et af tidens kolorerede håndskrifter, skrevet af *Walter de Milemete* i 1326^{1,2}. Det meget smukke billede er gengivet på figur 1.

Maurerne brugte kanoner i 1331 ved belejring af Alicante i Spanien. Der findes overleverede dokumenter, hvori det nævnes, at den engelske konge *Edward III* omkring år 1335 i en krig mod skotterne skal have benyttet et våben, der »spyede ild og røg fra sig«. Det er dog først i det berømte slag ved Crécy i 1346, at man har fuld sikkerhed for, at Edward III's soldater har benyttet hele tre regulære kanoner, som afskød stenkugler. Og betryggende nok viser kongens regnskaber fra tiden forud indkøb af salpeter og svovl.

Fra og med slutningen af 1330'erne nævnes salpeter, svovl og krudt af og til i bevarede regnskaber hos paven i Rom, hos fyrster i Italien og hos kongerne i England og Frankrig; og efter 1380 nævnes disse ting meget ofte¹. Trækul nævnes ikke, fordi det ingen pris af betydning har haft.

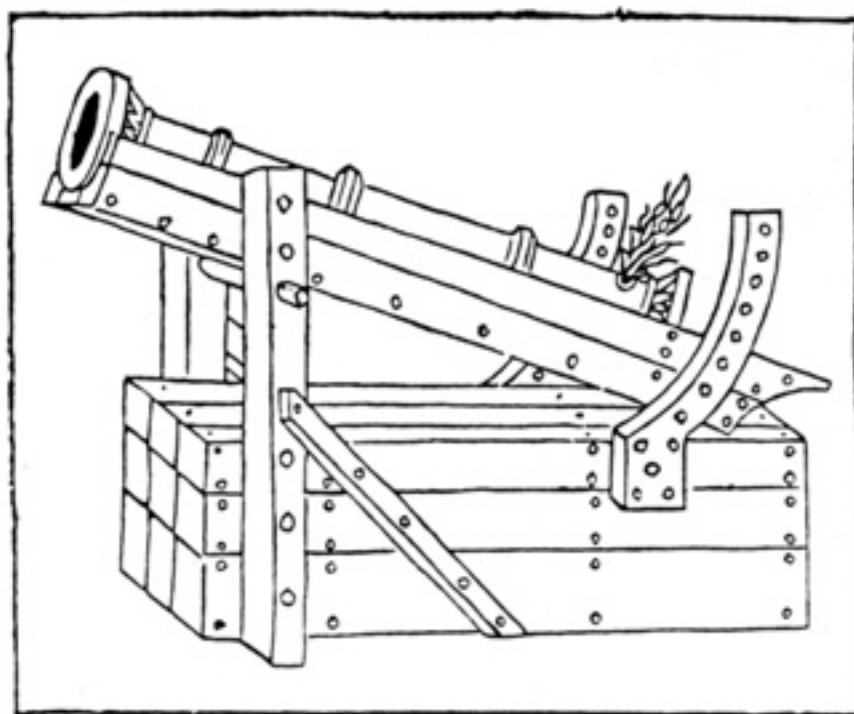
Ligesom man ikke ved, hvem der først har blandet sig frem til krudtet, ligesådan ved man heller ikke, hvem der har fundet på at benytte krudtet til at slynge sten eller metalkugler ud af et metalrør. Alt tyder på, at det er to uafhængige opfindelser.

Måske er kanonens opfindelse gjort i England i kølvandet på Roger Bacons viden om krudtforsøg. Det kan også være sket i Middelhavsområdet eller være sket flere steder på næsten samme tid. Edward III's teknikere må i hvert fald have eksperimenteret med ildskydevåben inden anvendelsen i praksis i Crécy 1346 mod Frankrig. Slaget blev dog ikke vundet i kraft af kanonerne, som må have haft en meget ringe skydeevne. Bueskytterne var meget mere effektive, men den samtidige affyring af tre kanoner har nok ydet et vigtigt psykologisk bidrag til panikken blandt de franske riddere og den engelske sejr. Det fortælles i hvert fald, at

kuglerne forfejlede deres mål og landede længe før fjendens rækker. Men Hundredårskrigen var jo også ung dengang.

Vi har en del *afbildninger af kanoner* eller bombarder, som de hed dengang. Meget interessant synes det som om klokkestøberne nu fik mere gemene gøremål. De havde ellers i århundreder syslet med »himmelske« ting, så som støbning af kirkeklokker, som kaldte menighederne til bøn. Det er uomtvisteligt, at de ældste afbildninger af kanoner i påfaldende grad ligner klokker i facon. De er antageligt lavet af bronze⁴. Også kanoner af træ omtales og snart også af jern, ofte i form af stokke eller stænger holdt sammen med »tøndebånd«. Se f.eks. figurene 3-9.

Fremkomsten af kanoner og senere de andre skydevåben fik lidt efter lidt de voldsomste virkninger på samfundsordenen. Talrige krige (Hundredeårskrigen, Trediveårskrigen o.s.v.) skulle gennemleves og ny statsdannelse ske. Senere kom der endnu mere avancerede skydevåben til, og udviklingen fortsatte ind i det teknologiske våbenkapløb, som faktisk står på endnu i dag. Alt dette er velkendt, og vil blive forbigået her; blot vil vi nævne to småting:



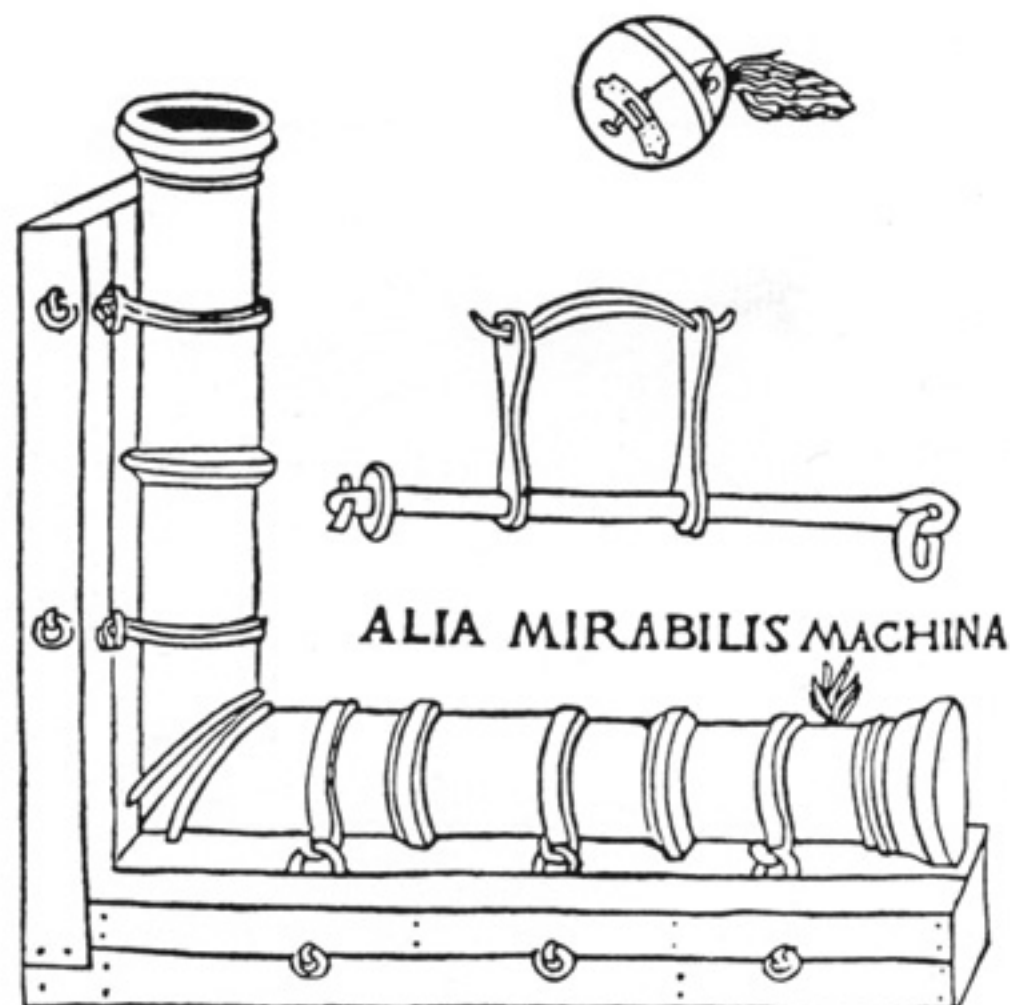
Figur 3A. Kanon lavet af jern og holdt sammen af jernringe. Kanonen er tilsyneladende antændt ved en lunte og hviler på et solidt underlag. Den kan stilles i højden, men er ikke særlig mobil. Billedet stammer fra »De Re Militari Libri XII«, et værk i 12 bøger om militære sager, som den italienske militær-ingeniør Roberto Valturio (1413-1482) udsendte i trykte udgaver fra bl.a. Verona i 1472 og 1483. Håndskrevne udgaver af værket kendes fra før 1463^{1,11}.

I Danmarkshistorien hører vi første gang om kanoner under Valdemar Atterdags krige i 1360'erne, hvor Hanseaterne brugte krudtet mod os¹⁰. Valdemar fik vistnok selv kanoner i 1372.

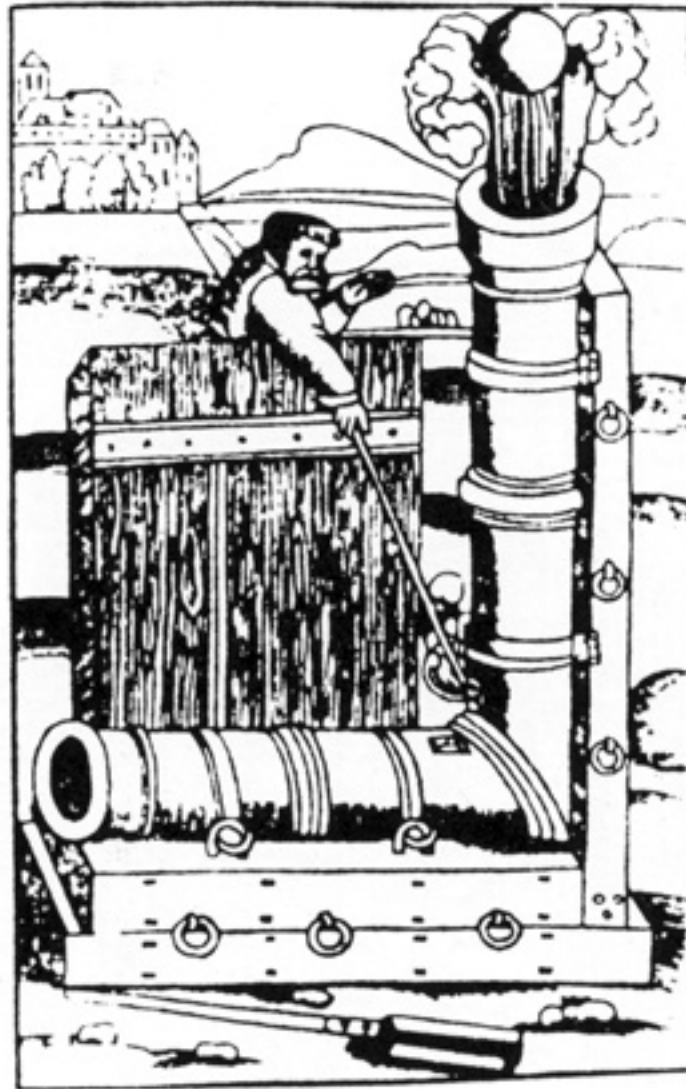
Fra 1600-tallets begyndelse (1616 eller 1627) nævnes anvendelsen af krudtet til civile sprængninger ved tysk mine- og bjergværksdrift¹.



Figur 3B. To danske 1400-tals smedejernskanoner, kaliber 5 cm, længde 120 og 140 cm. Kanonerne er fisket op fra bunden på Københavns red og findes på Tøjhusmuseet. Man ser på grund af forrustningen tydeligt konstruktionen bestående af jernstænger omsluttet af ringe med vekslende tykkelse, omtrent som stokkene i en tønde¹².



Figur 4. Albue-kanon og flyvende bombe, år 1472, afbildet i Robertino Valturio's værk (se figur 3). Der er ingen tvivl om at bomben er beregnet på at skulle eksplodere¹.



Figur 5. Affyring af albue-kanon. Man bemærker, at manden er beskyttet af et solidt plankeværk. Det var forbundet med betydelig fare at affyre en kanon; kong James II af Scotland blev dræbt af en eksploderende kanon i 1460. Billedet er fra en senere udgave af Valturios bog, udsendt i Paris 1535 af F. Vegetius^{1,3}.



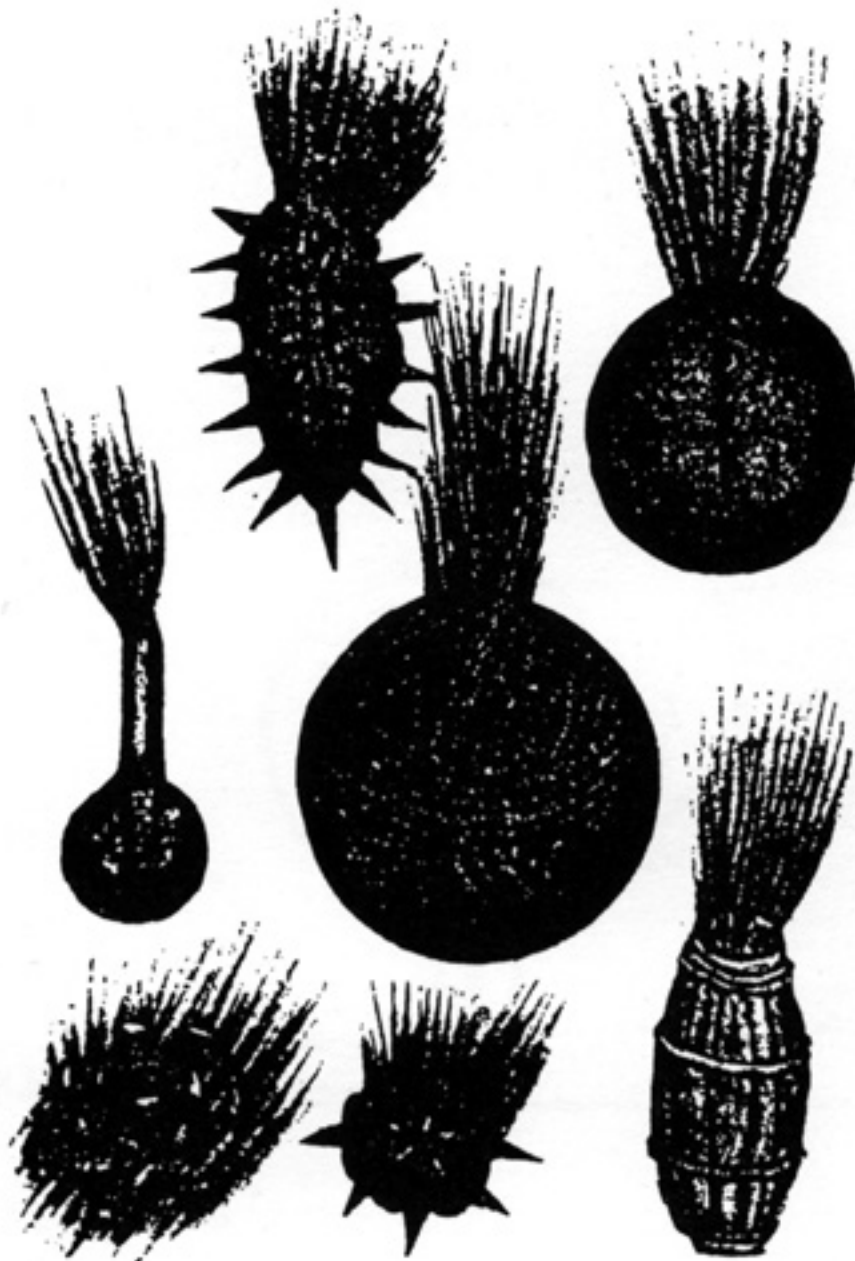
Moderne variation over samme tema.



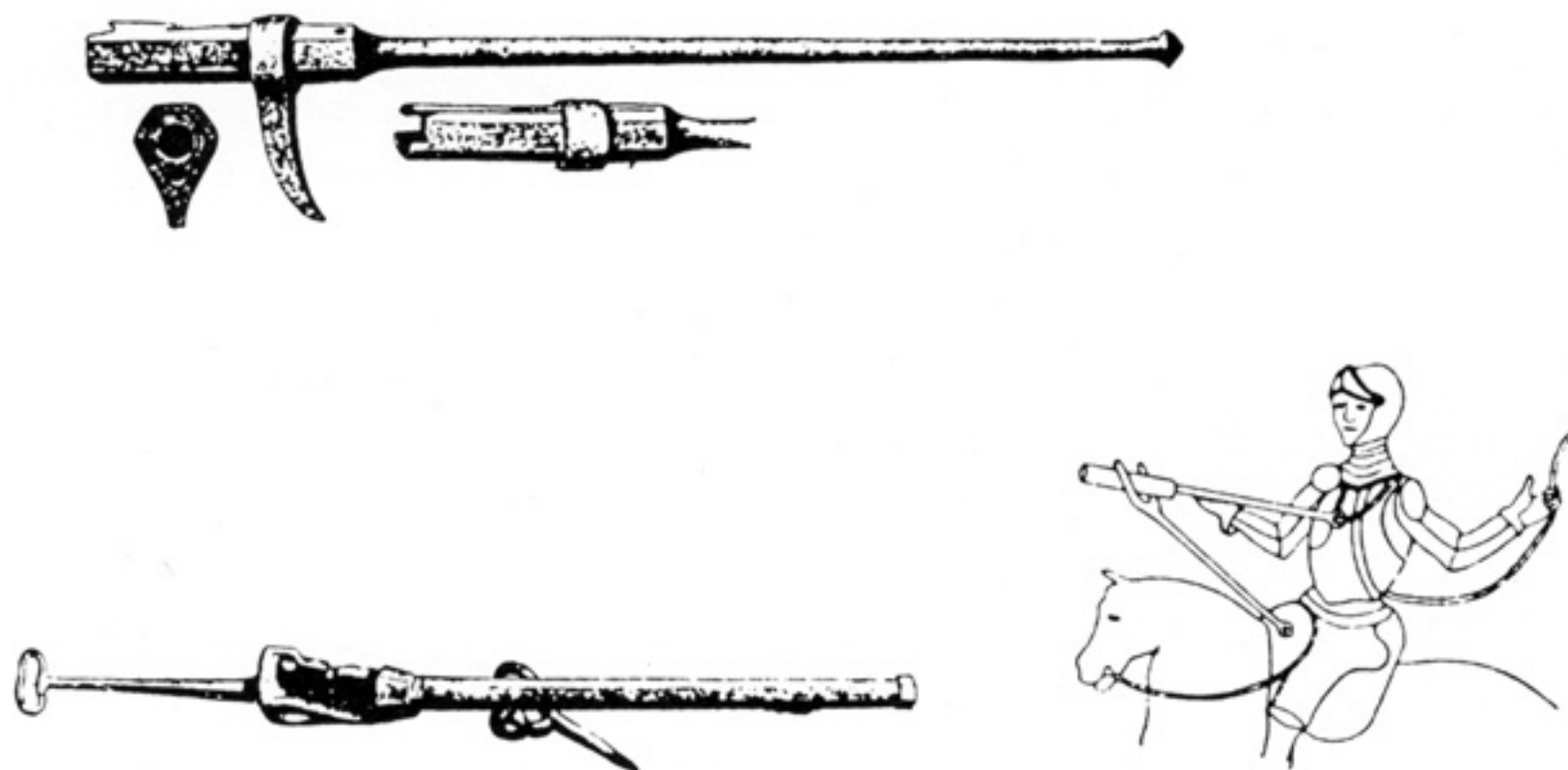
Figur 6. Kamp om fæstning ca. 1400. Angriberne har en mobil dobbeltløbet kanon lavet af træ eller metalstave. Kamphandlingerne foregår endnu mest på traditionel vis med armbroster, bue og pil, skjolde, lanser og sværd. Fra³.



Figur 7. Illustration af kanoner fra 1400-tallet. Kuglerne ligner store sten og kanonerne tøn-
der. Fra⁴.



Figur 8. Forskellige arter af bomber, herunder en under sprængning. Billedet
stammer fra Conrad Kyeser's artilleribog »Bellifortis« fra før 1405¹.



Figur 9A. Den første bærbare enmandsbetjente kanon, en bøsse, så meget anderledes ud end vore dages gevær. Til venstre vises to smedejernsbøsser fra omkring år 1400, helt af jern. Bemærk fænghullet, som fører ind til krudtkammeret i den øverste, som er delvis sprængt (findes på Tøjhusmuseet)¹². Bemærk bagladnings-systemet på den nederste, hvor man med løse krudt-kamre har kunnet afskyde flere skud ret snart efter hinanden. Til højre vises fra et gammelt håndskrift, hvordan en rytter betjener en bøsse af tilsvarende art. Bemærk støtten og luntten, som han holder i hånden. Som lunter anvendtes en uldsnor, som var vædet med salpeteropløsning og tørret. Billeder fra ^{3,14}.



Figur 9B: Krudtets anvendelse til bortsprængning af hele fæstningsanlæg blev hurtigt benyttet. I 1495 skal spanierne således med krudt have sprængt sig ind i Napolis fæstning »Castel Nuovo« ved hjælp af en træafstivet minegang. Billedet fra Biringuccio's bog »De la Pirotechnia« fra 1540¹ og ¹⁸.

Salpetersydningens historie

Hvor fik man nu krudt fra til at føre alle Middelalderens krige? Som omtalt tidligere vidste man, hvad man skulle bruge: Trækul, svovl og salpeter. Men hvor fik man det fra?

Trækul er, som man ved, let tilgængeligt. Tænk blot på de efterladte kulstykker i slukkede bål. Alt slags trækul af god kvalitet kan bruges til at lave krudt af, men mest velegnet er visse aske- og harpiksfri træsorter såsom pil, tjørn, elm, hassel og poppel.

Svovl er også let tilgængeligt i egne med vulkansk aktivitet, f.eks. Italien eller Island. Det aflejres ofte der, hvor varme gasser fra undergrundens dyb trænger frem. Svovlet kan blot graves op, men må omhyggeligt renses. Det skyldes, at forekomsten af småsten og sand i svovlet let vil kunne blive skæbnesvangert ved formalingen af krudtet. Og en intim formaling skal til for at give et godt krudt. Man rensede derfor svovlet ved destillation, en proces med sikkerhed kendt i 1200-tallet. Vi ved, at eksporten af svovl (eller brennustein) fra Island var meget væsentlig gennem hele Middelalderen¹⁰, og dette var nok en af grundene til, at Island ikke, sådan som Grønland, blev glemt under Den Sorte Død.

Svovlet var velkendt af oldtidens kemikere, og det blev af mange, bl.a. af de arabiske alkymister regnet som en af de grundlæggende substanser i verden. Man så en analogi mellem dels den måde kviksølvet og svovlet forener sig til cinnober og dels det kvindelige og mandlige princip i verden (en art ying og yang).

Fremskaffelsen af *salpeter* var det egentlige problem for datidens krudtproducenter. Salpeter måtte man have fat i, men hvorfra?

I Kina og Indien forekommer naturlige salpeteraflejringer, dannet i det varme klima på mikrobiologisk vis ud fra organisk materiale. Det er givet, at råsalpeter har været kendt af kineserne længe før end af europæerne; man har bemærket udblomstringerne på skrænter, etc. Men den rå salpeter er ikke særlig velegnet til krudt på grund af indhold af calcium og natrium i stedet for kalium, hvad der gør den fugtig. Den må renses, så man får et rent og tørt salpeter.

Man kender faktisk en kinesisk forskrift for fremstilling af ren salpeter, som angiveligt^{1,4} skyldes *Wu Ching Tsung Yao* fra år

1044. Der er kendte beretninger om anvendelser af salpeter i Kina til festlige formål, ceremonier, illuminationer og raketter^{1,11}.

Men oversøiske forsyninger var svære at skaffe frem til Europa. Alligevel blev store mængder natursalpeter indført fra Orienten til Europa via Arabien og Venedig¹⁰. I krigene, som opstod mellem araberne og europæerne var afhængigheden af billig salpeter fra Østen alvorlig. Efter tyrkernes erobring af det kristne Konstantinopel i 1453 blev det for alvor svært, ovenikøbet i en tid hvor efterspørgslen stadig var stærkt stigende. Til erobringen af Konstantinopel anvendte tyrkerne i øvrigt ifølge kilderne bl.a. en legendarisk 19 tons tung bronzekanon¹⁵.

Tilskyndelsen til selv i Europa at *fremstille* salpeteret ad kemisk vej var således stor.

Man havde en udvej i Marcus Graecus og Roger Bacon's anvisninger om, at salpeter forekommer i jorden. I Europa forekom salpeter som krystalliske udblomstringer ved grisestier, alje- og gyllebeholdere, pissekældre, samt simpelthen i leret i stampede gulve i huse til dyr og mennesker.

Vi ved i dag, at salpeterkrystallerne var dannet på væggene af de fugtige safter, som siver ud. De indeholder på sådanne steder ofte letopløselige salte, bl.a. *kalium nitrat*, som så bliver tilbage ved fordampning og indtørring. Nitratet er opstået af nitrogenholdige opløsninger ved bakteriel mellemkomst^{13,16}. Ammoniak fra urin omsættes let i mudder til *nitrat* af flere slags almindeligt forekommende bakterier, – jævnfør nutidens problemer med nitrat i grundvand; ikke alt nitrat kommer fra kunstgødningen. Der skal være *kalium* til stede for at give godt salpeter, men kalium findes i rigt mål i organisk materiale. Det findes også i træaske, som har et stort indhold af kalium carbonat. Dette skyldes, at træernes rodsystemer sørger for fortrinsvis at optage kalium salte fra jordbunden.

En bevidst udvinding af salpeter blev snart sat i system som en egentlig »industriel« teknik, som udførtes af særlige håndværkere, såkaldte *salpetersydere*. Men der er ret få skriftlige kilder herom. Man har formentlig i stor udstrækning prøvet sig frem og haft en mundtlig tradition. Eller betjent sig af de velkendte *hemmelige* floromvundne og i dag faktisk uforståelige opskrifter, der er så karakteristiske for den tids alkymi. Men det er klart nok, at

hemmeligholdelsen var fremherskende, for det var jo et sprængfarligt emne.

Salpetersydningprocessen omtales bl.a. af *Conrad Kyeser* i et håndskrift fra før 1405 og i andre tyske skrifter om artilleri¹. Her nævnes for første gang direkte, at man kan fremelske salpeterjord kunstigt⁷, salpeter så at sige »brygges«. Fremgangsmåden ved den efterfølgende sydning beskrives på en måde, der lader formode, at der er skrevet af efter Marcus Graecus eller tilsvarende kilder. Tilsætning af træaske er ikke nævnt; til gengæld er urin og gødning omtalt.

Der kendes en araber ved navn *Al-Hasan al-Rammâh* fra Syrien. Han døde omkring 1294-95 i en alder af 30-40 år. Han har efterladt sig et interessant værk fra ca. 1280, givetvis et fortroligt skrift. I introduktionen nævnes, at formålet er at forbedre krigsførelsen til fremme af Islâm. Efter en del andet beskriver han salpeterfremstilling, og han nævner her som den første klart, at træaske skal tilføjes (dog ikke at det sker for at tilføre kalium og for at fælde calcium og magnesium som carbonat).

En rigtig god beskrivelse af salpeterfremstilling gives først ca. 1540 af *Vannoccio Biringuccio* (1480-1538/39). Han var bl.a. pавens betroede krudtmester. Vi ved en del om Biringuccio. Han var en berejst mand og utvivlsomt en meget dygtig kemiker. Biringuccio kan ikke betegnes som alkymist, idet han direkte advarer mod det spild af tid og penge, som forsøg på at omdanne almindelige metaller til guld og sølv erfaringsmæssigt medfører. Han arbejdede som militæringenieur med praktiske ting ved metaludvinning og minedrift¹⁷. En overgang havde han monopol på salpeterfremstillingen i den italienske småstat Sienna. Hans ry som kanonstøber og fæstningsværk-designer bragte ham fra stat til stat. Han endte med at få ansvaret for pavens artillerivæsen i Rom. Kort før sin død dikterede han sine erfaringer til en skriverkarl, og disse noter på italiensk blev i form af 10-bindsværket »*De la Pirotechnia*« bogtrykt i Venedig i 1540¹⁸.

»*De la Pirotechnia*« er den første trykte bog af sin art. Den omhandler et væld af ting om metallurgi og kemi, og så er den tilmed yderst velillustreret med træsnit, se f.eks. figur 10A. Teksten er forbavsende klar og forståelig uden uvæsentligt fyld. Det kan ikke undre, at den har været en efterspurgt bog, som gentagne

gange er blevet optrykt og oversat til andre sprog, dog ikke dansk.

I 10. bog beskrives bl.a. stoffer og teknik af betydning for krigsførelse. Krudtfremstilling behandles indgående^{1,5,19}. Salpeter (salnitro) omtales som et sammensat stof, der fås af jord ved behandling med elementerne ild og vand. Efter en beskrivelse af salpeters fysiske egenskaber og eksplosive karakter i blandinger (krudt) fortsætter han:

»Den bedste salpeter fås fra staldmøg, som i dynger omdannes til jord. Eller fra gammel latrin og især fra svinestier. Møget skal holdes fugtigt, men have tid i flere år til at omdanne sig til jord (salpeter). Dette jord skal tørres fuldstændig og pulveriseres. Dette jord fyldes i kedler og kar i lag fire streger tykke, vekslende med lag en streg tyk af en blanding af to dele brændt kalk og tre dele aske fra egetræ. Karrene fyldes til ca. fire streger eller en halv arms længde fra randen og fyldes så med vand. Gennem dette jord siver vandet, udtrækker salpeter og drypper gennem huller i bunden til render, der leder til andre kedler. Hvis dette vand smager skarpt og stærkt salt er det godt, ellers må det igen hældes over det samme eller et andet jord, som indeholder salpeter. Denne proces fortsættes, indtil praktisk alt salpeter er opløst. Vandet hældes så i kobberkedler over ildstedet og indkoges sagte til ca. en trediedel af rumfanget, hvorefter det tappes over på stærke, tildækkede fade, hvor det henstår til bundfaldet sætter sig. Det helt klare vand tappes af og indkoges ved den samme proces som før. For at modvirke skumdannelse og overkogning, og dermed tab af meget godt materiale, laves en afmåling af tre fjerdedele soda, eller aske af eg eller oliven, og en fjerdedel kalk og for hver hundrede pund vand opløses fire pund alun. Et glas eller to af dette vand tilføjes, når der er fare for skum eller overkogning. Salpeteropløsningen koges, indtil den er klar og blåfarvet som tegn på, at det meste af vandet er bortkogt. Det tappes af på fade og henstår til afkøling og udskillelse af fast materiale. Det overføres til træfade og henstår i tre til fire dage, hvorefter vandet skilles fra den faste del, enten ved at hælde karret eller ved huller i bunden. Vandet gemmes og koges igen. Det faste salpeter udkrystalliserer sig. Det vaskes med sin

egen opløsning og henstilles på et bord til fuldstændig tør-ring«.

Som man kan se, beskriver Biringuccio nøje og ret let forståeligt dannelsen af salpeter. Udvindingen sker fra møddingernes substanser, som lagres passende (for at nitrater kan dannes ved den bakterielle proces). Jordet lejres så i lag (på riste eller filterklæde?), når det er tjenligt hertil, og overrisles gentagne gange med vand (herved opløses bl.a. nitrater). Opløsningen »renses« ved kogning med en lud fremstillet af brændt kalk og træaske (herved tilføres kalium, mens calcium og magnesium fældes som carbonat). Der tilsættes alun, kalium aluminium sulfat, som tilfører mere kalium og danner aluminium hydroxid, der fældes og erfaringsmæssigt letter fældningen af andre salte. Efter dekantering vindes salpeter ved krystallisation.

Derefter fortsætter Biringuccio i den efterfølgende tekst med at beskrive rensning og prøbering (afprøvning, se figur 10A) af det vundne salpeter. To rensemetoder anvendes som følger:

1. Våd *omkrystallisation* i vandig opløsning med tilsætning af passende hjælpestoffer, f.eks. ovennævnte (kaliumholdige) lud og filtrering gennem sandfilter på lærred.
2. Lutring ved *smeltning* med lidt svovl og filtrering. Dette sker i kobber- eller jerngryde med låg på gode gløder til salpeteret smelter (ca. 339°C), hvorefter svovlpulver pådrysses og afbrændes, indtil smelten bliver klar og ren. Når dette sker fjernes gryden fra ilden og henstår til afkøling. Den stivnede salpeter ligner marmor, og ved bunden ligger urenhederne.

Omkristallisation af salpeter er i sig selv en interessant proces. Processen beror på forskellig opløselighed for de forskellige salte i henholdsvis varmt og koldt vand²⁰. I kogende vand er natrium chlorid (alm. salt) det tungest opløselige, mens i koldt vand er kalium nitrat det tungest opløselige salt blandt de mulige kombinationer af natrium og kalium med chlorid og nitrat. Se figur 11, der viser de nøjere forhold. Natrium og kalium sulfat vil nemt være en forurening, som følger natrium chlorid eller som man først er sluppet af med ved lutringen^{20,7}.

Ved *saltsmeltningen* fjernes mange salte. F.eks. dannes af svovlet ved reaktion med nitrat bl.a. sulfat, som fælder salpeterets indhold af calcium som calcium sulfat. Dette og mange andre

salte så som natrium chlorid er tungtopløselige i saltsmelten, og forbliver derfor overvejende faste og bundfældes.

Man må derfor forestille sig, at det vi på figurerne 12-16 ser er, at salpetersyderen under omrøring indkoger »suppen« til krystallisationen er godt i gang. Skum fjernes med en ske. Så filtrerer, eller dekanterer, eller »fisker« han en passende mængde natrium chlorid væk fra den kogende varme suppe. Til sidst stilles den så hen til afkøling. Herved udkrystalliserer ret ren kalium nitrat og f.eks. noget natrium chlorid og måske andre salte.

Hvis man inden afkølingen har tilsat *lidt* vand, skulle man teoretisk kunne vinde meget ren salpeter.

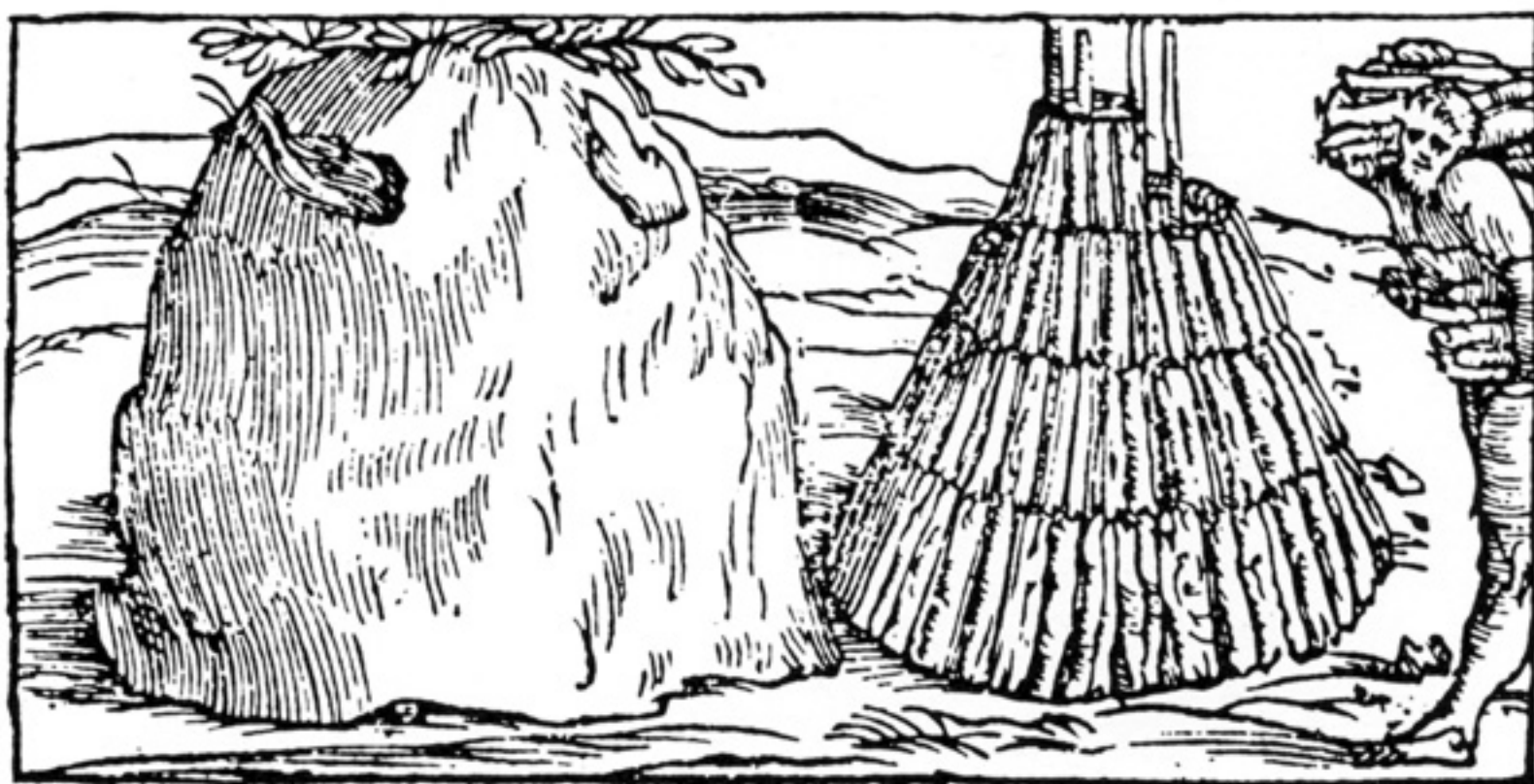
Salpeter eller som det i dag kaldes – kalium nitrat – udkrystalliserer som rhombiske prismekrystaller, der smager stærkt bittert. Salpetersyderen har givetvis – som nævnt af Biringuccio – smagt på suppen for at finde det rette tidspunkt til at standse indkogningen og starte afkølingen. Måske har han også kunnet kende krystallerne fra hinanden. Han har givetvis kunnet *probere* (afgøre), om det var salpeter ved at prøve at kaste et saltkorn på et stykke glødende kul. Hvis saltkornet fik kullet til at blusse op, var det fint (salpeter afgiver ved kraftig opvarmning oxygen (ilt), som nærer kullet forbrænding).

Ifølge Vannoccio Biringuccio¹⁸ sker dannelsen af salpeter på følgende måde, som viser en del om den *teoretiske forståelse* af kemi dengang:

...en »luftig fugtighed« drikkes og absorberes af »jordets tørhed«. Nogle »eksperter« opfatter salpeter som »varmt og tørt« på grund af dets salte og skarpe smag og bidende kvaliteter; men fra dets dannelse ud af luft og dets brandbarhed og flygtighed mener andre, at det er »varmt og fugtigt«; dog eftersom det er hvidt og gennemsigtigt og letsmelteligt og tungt, er det »vand-agtigt«; men eftersom det føles koldt og let brækkes i stykker er det »jordagtigt«. Således synes det som om alle elementære kvaliteter på dominerende måde er til stede i salpeter...¹.

I 1540 var det helt ukendt, at salpeterets bestanddele er kalium og nitrat.

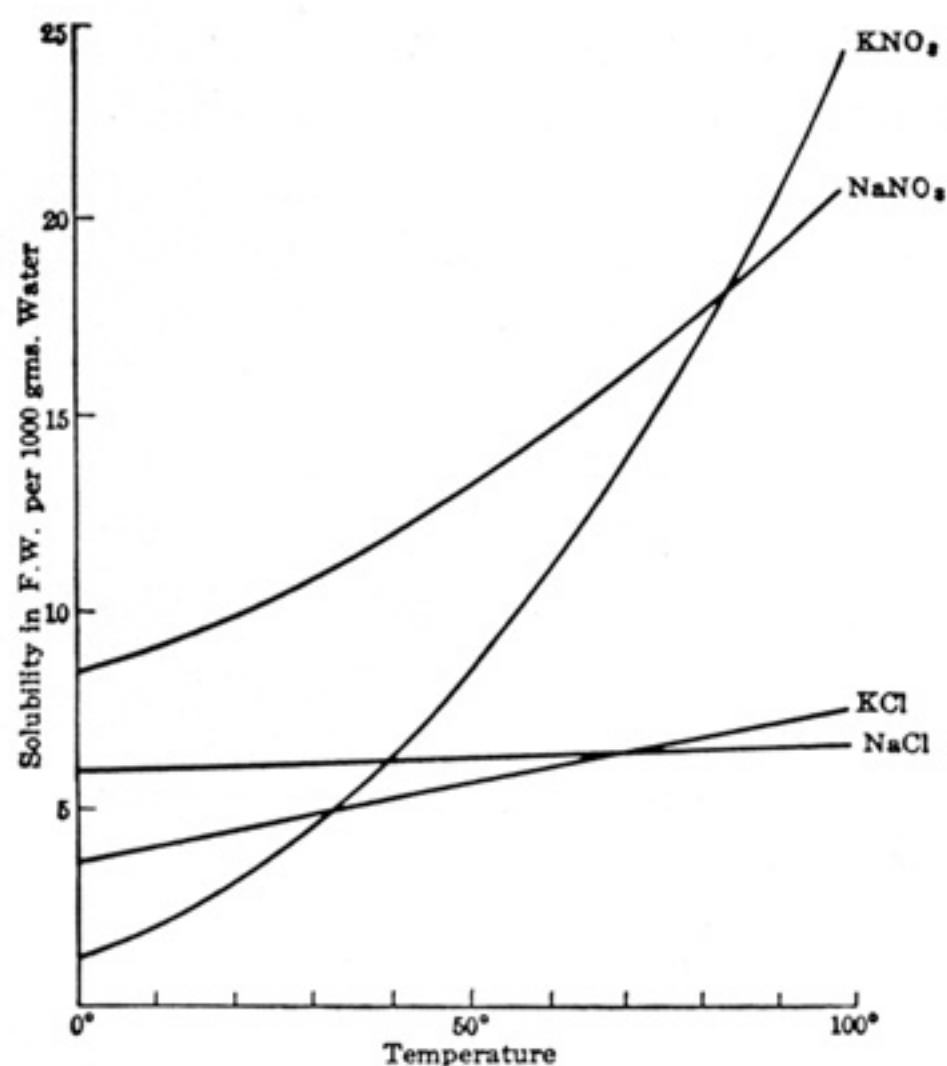
Nogle år senere (1574) udsendte *Lazarus Ercker*, kommandant i Prag for den Østrig-Ungarnske kejser Rudolf II's minedrift, en



Figur 10A. Træsnit fra Biringuccio's bog¹⁸. Fremstilling af gode trækul. Først stables brændet pænt og der klines med ler. Efter brænding i et stykke tid tilklines også lufthullerne så man opnår et stort udbytte.



Figur 10B. Træsnit fra Biringuccio's bog¹⁸. En god alkymist arbejder fornuftigt. Han har en vægt som bl.a. tillader ham at analysere sine stoffer, f.eks. ved at bestemme en digels vægttab ved opvarmning til glødning i ovn. Bemærk dugen; renlighed er jo vigtigt ved analysearbejde.



Figur 11. Moderne tiders undersøgelser viser, at en vandig opløsning, som er mættet med såvel natrium nitrat som kalium nitrat ved kogning, vil kunne indeholde relativt mest kalium nitrat, hvorimod dette salt fortrinsvis fældes ved afkøling. Hvis der er chlorid eller sulfat til stede, vil der dannes natrium chlorid eller natrium sulfat krystaller, som kan fjernes fra den varme opløsning ved fiske- ning, filtrering eller dekantering (fræhældning). Kurverne viser saltenes opløse- ligheder ved forskellige temperaturer i enheden »formelvægt af opløst salt pr. kg vand«. Data fra^{20 og 21}.

lærebog »Beschreibung Allerfürnemsten Mineralischen Erz und Bergwercksarten«, som direkte viser et billede (se figur 12), hvor man ser en mand skrabe salpeterudblomstringer af aflange dyn- ger eller volde af jord (»salpeterbede«). Han beskriver dog ikke disse nærmere. Salpeterbede er nævnt første gang af Conrad Ky- eser i hans artilleribog fra før 1405.

Vi ved i dag, at et *salpeterbed* virker ved, at *bakterier* oxiderer nitrogen-holdigt organisk materiale til nitrat. Det sker normalt ved hydrolyse af urin til ammonium, hvorefter Nitrosomonas- bakterier ved deres livsprocesser oxiderer ammonium til nitrit, som så af Nitrobakter-bakterier oxideres til nitrat^{7,13,16}. Vi ved fra moderne forsøg, at staldgødning og urin og kalk fremmer proces- sen.

Erckers bog fik en meget stor udbredelse. Han formåede at forklare mange nyttige ting: Salpeterjord skal bedst først udtrækkes med salpeterlud, og så med vand (her ser vi en senere tids modstrømsprincip for effektiv ekstraktion anvendt). Med en træske bør man under sydningen fiske almindeligt salt op, fordi salt ikke opløses så let i vand som salpeter. Dette grove almindelige salt kan man ved overhældning med vand rense og så bruge i husholdningen. Samtidig kan derved noget salpeter genvindes af vandet. Ercker bestemmer salpeterindholdet i opløsningen ved smagen og *kvantitativt* ved at veje et kobberfad, og så bortkoge et bestemt rumfang opløsning og veje igen. Det færdige produkt prøves (proberes) med et stykke glødende kul, som bør bryde i brand i kontakt med god salpeter¹.



Figur 12. Salpeterjord anbragt i lange dynger, »bede«. Det er formentlig ikke korrekt, at jorden er anbragt under åben himmel. Givetvis har det været anbragt i laden til højre, mens sydningen sikkert er sket i sydehuset til venstre, med røg ved taget. Man ser tydeligvis en mand i færd med at afskrabe salpeterudblomstringer. Bemærk brændestabelen i bekvem nærhed af sydehuset. Den er sikkert underdimensioneret, idet der gik mange læs brænde til (100?) per tønne salpeter. Billedet er fra ca. 1580 (Lazarus Ercker's lærebog)^{1,4,22}.

Vi har i dag kendskab til et *ikke-publiceret manuskript*, som den engelske dronning *Elizabeth I* omkring 1561 erhvervede mod en uhyre stor betaling af 300 pund sterling. Manuskriptet var forfattet af en tysker *Gerard Honrick* og gav efter alt at dømme englænderne indsigt i alle uafslørede hemmeligheder vedrørende tysk salpeterproduktion. Den vigtigste hemmelighed var nok sammenblandingen af *urin, ekskrementer, aske og brændt kalk* i et kunstigt salpeterbed, og så en nøje beskrevet procedure for fremdriften af salpeterjordet og selve sydningen, der i øvrigt minder ret meget om *Biringuccios*⁷. *Biringuccio* nævner dog ikke urin.

Sir John Brooeke og *Thomas Russel* erhvervede 1625 et patent på at lave salpeter i England af urin. Men de fik ingen succes, for-



Figur 13. Billedet viser salpetersydning i Tyskland, 1580 (*Lazarus Ercker's lærebog*)^{4,8,15}. Manden fisker formentlig natrium chlorid (salt) krystaller op fra bunden af sydekarret. Karret er sikkert af kobber. I forgrunden bag ham er en høj tønde med salpeterjord og afskrab, som han sikkert lejlighedsvis overhælder med vand og hvorfra der drypper ny »saft« til en lille spand. I baggrunden står fade med indkogte sjetter, og man ser tydeligt salpeterkrystallerne, der er ved at danne sig.

mentlig fordi de ikke vidste, at der også skulle bruges aske for at tilføre kalium¹.

Først langt senere indses det af *H. Boerhaave* (se »Elementa Chemiae«, Leyden, 1732, ii, 386), at salpeter kan ikke laves af urin uden træaske¹.



Figur 14. Dette billede viser stort set det samme som figur 13. Krystallisationen foregår nu under låg eller tildækket med klæde. I forgrunden ses to personer i færd med at lutre salpeter ved smeltning. Vi ved²³, at danske konger under krige påbød salpetersyderne at syde uden ophør for at fremskaffe så meget brugeligt salpeter til krudt, som muligt. Billedet stammer fra 1676²⁴.

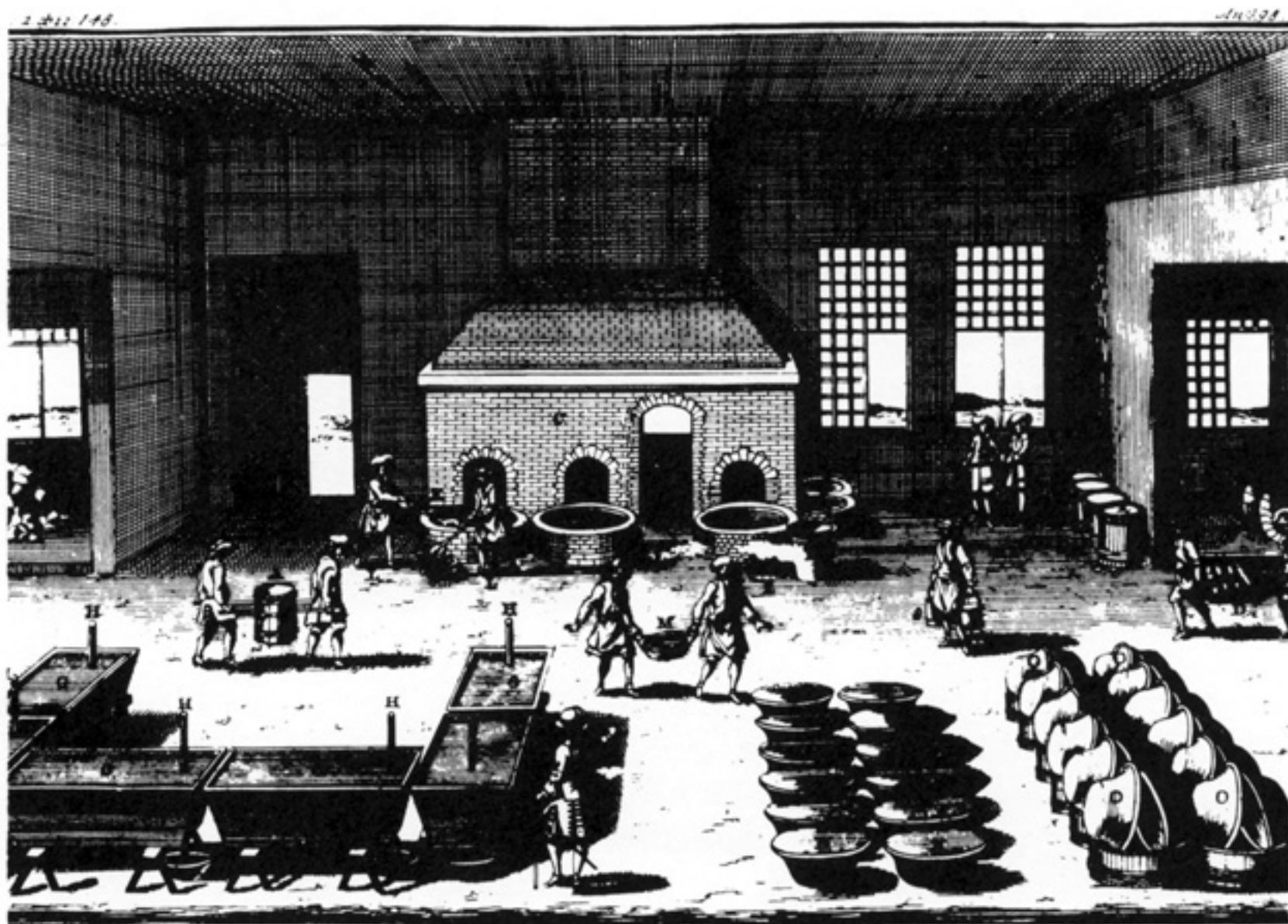


Figur 15. En mere arbejdsbesparende version med indlagt vand i udborede træstammer med vandhaner og ludtransport i træender. Vi ved, at Christian IV's syderi ved Kolding i begyndelsen af 1600-tallet var udstyret med en del tilsvarende træender. Herudover fandtes der her overskårne tønder, fade, øseskeer, indmurede kobberkar og skorsten. Billede fra Lazarus Ercker, ca. 1580^{8,22,23}.

En af den tyske kemiske industris grundlæggere *Johann Rudolf Glauber* (1604-70) beskæftigede sig også med salpetersydning⁸. På hans tid var det almindeligt, at salpeterjord måtte opbevares i tre år, inden den var værdig til behandling. Salpeter var følgelig dyrt. Hans idé var derfor gennem laboratorieforsøg at nå frem til den fremgangsmåde, der gav den bedst mulige kvalitet med mindst mulig indsats af tid og penge. Han varierede forsøgsbetingelserne og vurderede udbyttet i forhold til omkostningerne på en lønsom »moderne« måde. Han udviste megen praktisk snilde og opnåede en meget hurtigere bakteriel salpeterdannelse i sit nyudviklede apparatur, en kontinuerligt virkende to-kammer reaktor,

se figur 17. Herved blev produktionstiden reduceret til gennemsnitligt 10-12 måneder.

Glauber offentliggjorde sine arbejdsmetoder i bl.a. »Teutschlands Wohlfart«, (Tysklands velfærd, et vigtigt anliggende efter 30-årskrigen) i Amsterdam 1656 på en måde der (bevidst?) virkede vildledende på hans konkurrenter. Han opnåede således i 1658 patent på udvinding af salpeter fra havvand og erklærede, at han kunne forvandle salt til salpeter. Dette kan som bekendt ikke lade sig gøre. Der er ingen grund til at tro, at Glauber ikke vidste det. Vi ved, at han til stadighed havde problemer med at skaffe dygtige folk, *laboranter*, til sin »fabrik«. Og dygtige folk var jo, ligesom i vore dage, en nødvendighed og en mangelvare. Når Glauber havde lært nogle folk op, forlod de ham, og startede ofte for sig selv et konkurrerende foretagende. Så måtte Glauber finde på no-

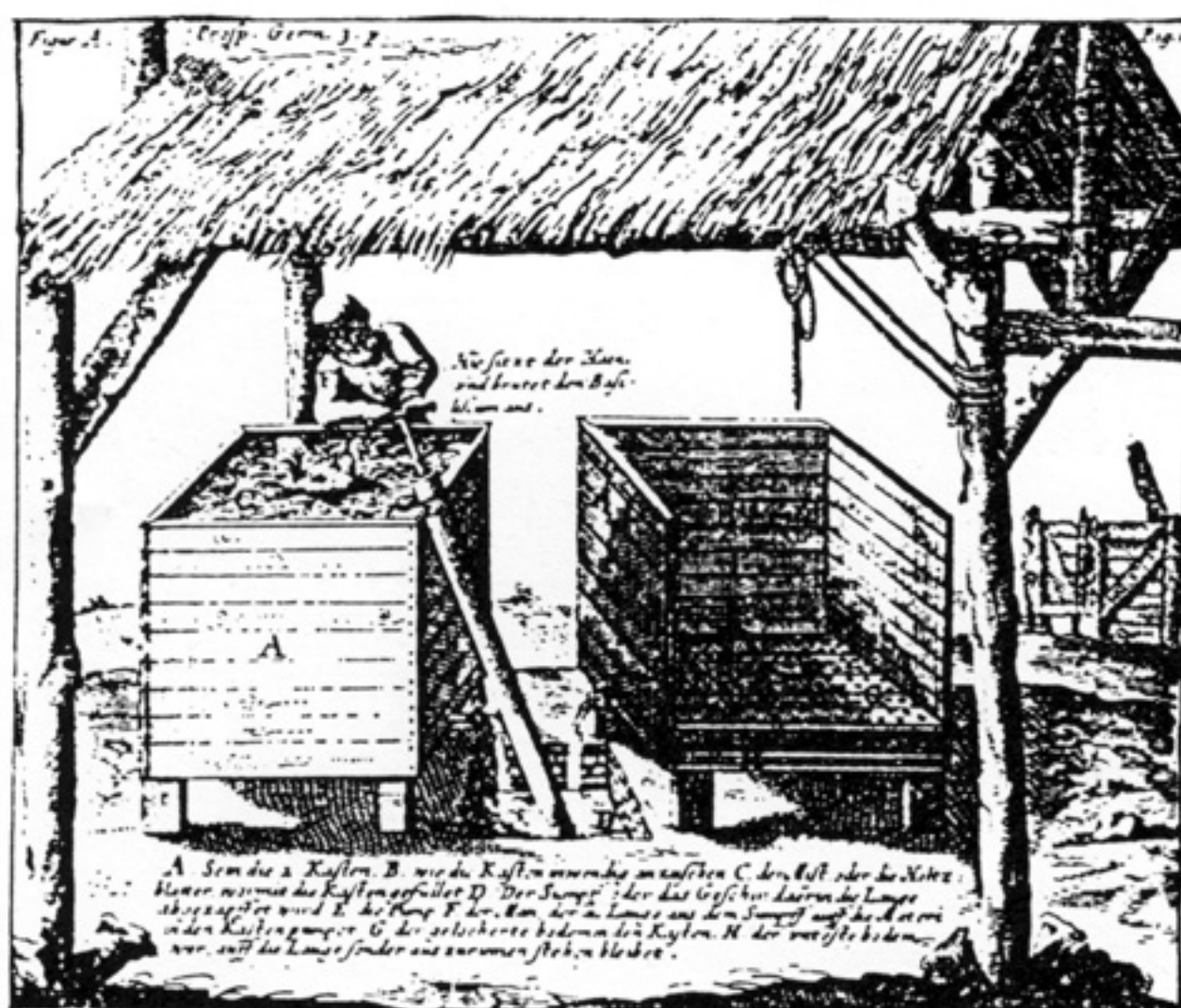


Figur 16. Det fremgår klart, at her er tale om en virkelig stor fabrik. Salpeterjorden er nu anbragt i firkantede kar, og der er formentlig mange flere ved siden af at dømme efter skorstenens størrelse. Billedet er gengivet efter²⁵.

get nyt for at få sine udgifter til udviklingsarbejdet betalt. Hans produktionsprivilegier i visse lande hjalp ikke meget, og ej heller hans forsøg på at sælge licenser.

Glauber gjorde flere vigtige opdagelser, og endnu i dag kaldes natrium sulfat af mange for Glaubersalt. Han fremstillede bl.a. dette og ammoniumsalte og kendte til ammonium nitrat's gødningsvirkning. Han kunne adskille kalium nitrat i salpetersyre og kalium carbonat, samt ikke mindst genforene disse igen til salpeter⁸.

Omkring 1780-1800 blev salpeterets natur som et nitrat efter-



Figur 17. J.R. Glaubers system for forøgelse af salpeterdannelsen. To trækasser af ens størrelse fyldes med staldmøg og andet organisk affald. Den ene kasse overbruses med en lud vundet af brændt kalk (muslingeskaller) og aske (eg). Efter et døgn tømmes luden af (bemærk hullerne i bunden) og pumpes over i den anden kasse. Her står den til gæringen i den første kasse er overstået, hvilket erkendes ved, at varmeudviklingen stopper. Så pumpes luden tilbage, og det er den anden kasses tur til at gære. Dette fortsættes under lejlighedsvis udtagning og efterhånden efterfyldning med nyt materiale. Denne metode er klart favorabel for den bakterielle omsætning. På denne måde kunne Glauber øge omsætningen, så den gennemsnitlige opholdstid blev ca. 1 år mod tidligere 3 år⁸.

hånden forstået efter en omfattende forskningsindsats især i Frankrig. Medvirkende her var måske især *A. Lavoisier* (1743-1794), som bl.a. ved systematisk brug af vejninger fastslog forbrændingens natur. I sit hovedværk »*Traité Élémentaire de Chimie*« udviklede han den *moderne* kemi. Forbrænding beskrives som en oxidationsproces, hvor en bestanddel af luften, nemlig oxygen (ilt) reagerer med et brændsel.

Lavoisier var dybt involveret i rationaliseringen af den franske krudtindustri, og var bl.a. derved medvirkende til at skabe grundlaget for Napoleon's militære succes. Det skulle Lavoisier dog ikke komme til at opleve, idet han inden da måtte lade sit hoved i den store franske revolutions guillotine²⁶.

At kalium nitrat ved opvarmning afgiver en gas (oxygen), var bl.a. blevet erkendt ca. 1771-73 af den svenske apoteker *Carl Wilhelm Scheele* (1742-86)⁹. Alkymister havde ellers flere hundrede år tidligere ment, at det var luften, der indeholdt salpeter¹¹, men det er måske nogenlunde det samme de har ment.

Som en kuriøsitet kan nævnes, at grundstoffet iod ved en tilfældighed blev opdaget i 1811 af en salpetersyder i Normandiet, *Bernard Courtois* (1777-1838)²⁶. Det var almindeligt at benytte aske fra tang som kaliumkilde, men tang indeholder også lidt iod, og en dag bemærkede han under indkogningen til sin overraskelse violette dampe, som han så undersøgte nærmere.

Krudtfremstilling

Dette emne vil vi kun berøre ganske kort. Også krudtfremstillingens kunst er glimrende beskrevet af Biringuccio¹⁸.

I allerældste tider hørte blanding af pulver (krudt) til kanonmestrenes og bøsseskytternes opgaver. Men man fik hurtigt øjnene op for vanskelighederne ved på marken at fremstille godt krudt. Et ensartet og korrekt blandingsforhold kræves jo til det bedste krudt.

Pulvermagere varetog snart det svære og farlige arbejde, det var at sammenblande krudtets ingredienser. Arbejdet blev henlagt til passende steder, gerne f.eks. hvor man kunne betjene sig af vandkraften. Ældste pulvermølle i Danmark er således Rønnebæksholm ved Næstved anlagt i 1513 på Christian II's anmodning.

Det, der foretages i krudtmøller, er stort set først en nøje finfor-

maling af bestanddelene enkeltvis. Derefter blandes pulverne grundigt ved f.eks. stampning med træpistol i trækar i *fugtig tilstand* (fugten kan være brændevin, eddike, urin og i senere tider blot vand, som efterhånden blev anset for at være godt nok). Indtørring under stampningen, rivning og slag m.v. giver varme, som let medfører eksplosion. Jævnlig fugtning er meget vigtigt. Mangen en stampemølle er i tidens løb røget i luften. Om det kan skyldes småsten i svovlet eller i salpeteret eller statisk elektricitet, er ikke nemt at sige. (*Vigtigt: Lav aldrig sådanne forsøg selv*).

Ved processen som således beskrevet får man såkaldt *melkrudt*. Det brænder hurtigt og godt, og anvendes endnu i vore dage til at starte andre eksplosioner (som primer).

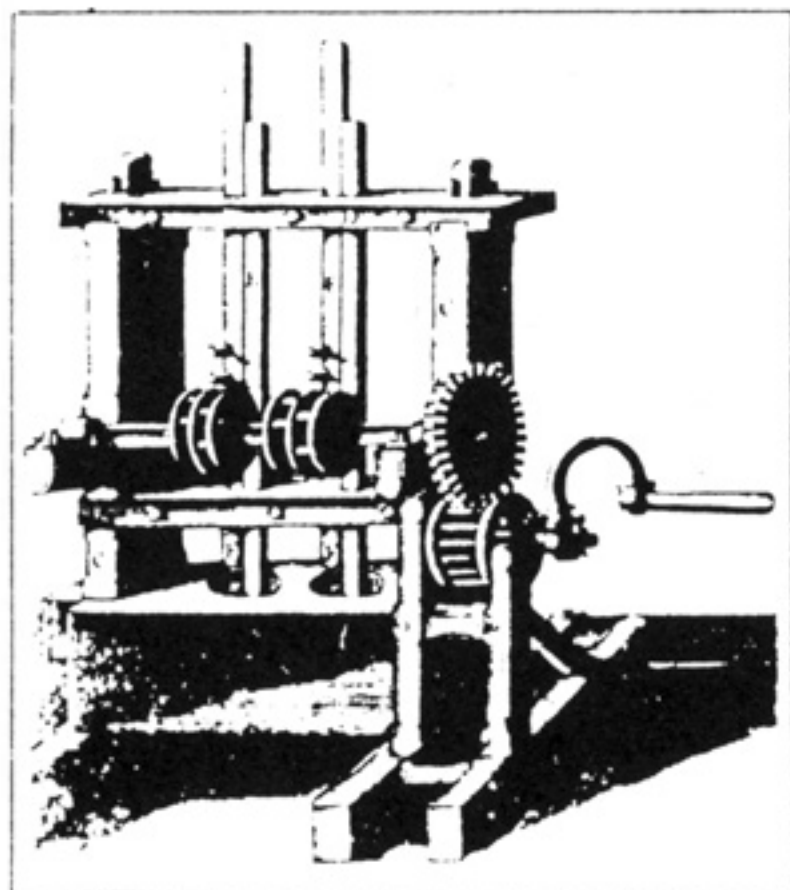
Biringuccio beskriver krudtfremstilling indgående og giver vægtforhold beregnet til store og små kanoner, geværer og pistoler, f.eks. et langsomt brændende pulver af 3 dele salpeter til to dele trækul og en del svovl *til tungt artilleri* og et hurtigt (moderne) pulver *til pistoler* af 75 dele salpeter, 15 dele trækul og 10 dele svovl. Der er altså klart tale om at *tilpasse* krudtets sammensætning til opgaven.

Endnu mere vigtigt for udviklingen af et godt artilleri er imidlertid kendskabet til processen at granulere melkrudtet, så man får større korn ud af det: *Granuleret* (kornet) *krudt*. Melkrudt brænder af næsten øjeblikkeligt efter at antændelse er sket, og den eksplosive virkning heraf giver stor fare for sprængning af våbnet. Men selv om det holder, så påvirkes kuglen for kortvarigt i selve affyringsøjeblikket. En større skudvidde fås, hvis krudtet afbrænder noget langsommere, så kuglen er påvirket af accelerationskræfter på hele vejen, indtil den forlader munden. Ved at variere krudtets kornstørrelse kan man tilpasse brændetiden til skytset og derigennem få en optimal virkning.

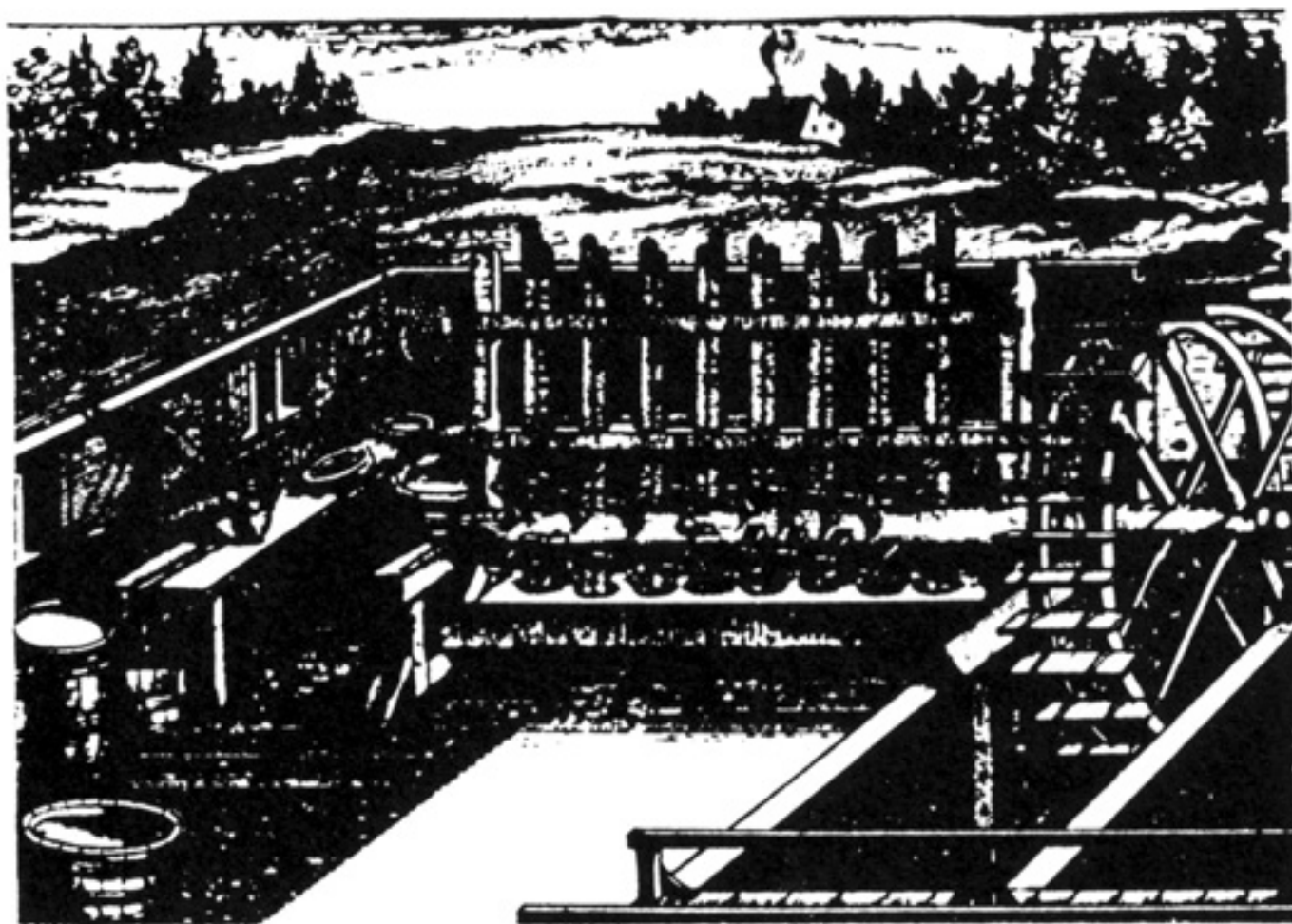
Granuleret krudt omtales tidligst af tyskeren Conrad Kyeser af Eystadt (1366-1405) i hans artilleribog fra før 1405¹⁰. Kyeser var klar over at kornet krudt brænder langsommere. Han beskriver, hvordan krudt kan kornes. Tilsvarende opskrifter findes i *Feuerwerkbuch* (ca. 1420)¹:

»Det stampede krudtpulver danner med vineddike en stiv pasta, som kan rulles til kugler, som tørres i solen eller i et varmt rum«.

I senere tider presses den fugtige krudtmasse gennem et sold. Man sigter kornene efter størrelse og fører de for fine korn (pulveret) tilbage til stampningen.



Figur 18. Mindre hånddreven krudtstampemølle fra 1600-tallet. Ved drejning af håndsvinget løftes træpistillen et lille stykke op og falder blidt ned igen på pulverblandingen i hulheden i træ-bjælken. Derefter flytter rystelserne fra den anden »stampe« pulveret lidt. Af og til flyttes pulveret manuelt²⁵.



Figur 19. Vandkraftdreven stampemølle til krudt fra 1676²⁷. Tilsvarende anlæg fandtes i Danmark ved krudtmøllerne langs Mølleåen og senere i Frederiksværk³⁰.

Krudtfabrikation i Danmark

Om krudtfabrikationen i Danmark findes en ret righoldig litteratur^{23,28}. Fra og med begyndelsen af 1500-tallet nævnes for første gang krudtmagere og krudtmøller ved København og rundt om i landet, Rønnebæksholm, Malmø, Væ m.fl. De fleste var nært knyttet til eller direkte under kronen. Kongens krudtmølle udenfor København nedbrændte i 1550. I Frederik II's regeringstid (1559-1688) blev Ørholm Værk ved Mølleåen kronens vigtigste krudtmølle. Fra 1560 og fremefter kendes en række kongelige bestallingsbreve til danske og tyske krudtmagere ved denne og andre krudtmøller, bl.a. i Lund og Varberg.

Danmark var i den heldige situation, at man selv rådede over alle nødvendige råmaterialer til fabrikationen. Trækul blev brændt af kulsviere rundt om i de danske skove. Til krudt blev navnlig brugt det eftertragtede hasseltræ. Svovlet blev udvundet på Island fra naturlige vulkanske forekomster. I år 1560 fratog Frederik II de hamburgske købmænd svovlhandelen på Island¹⁰ og oprettede et kongeligt monopol. Al lutring af svovlet (smeltning eller destillation) skulle foregå på salpeterhuset i København, og kongen havde forkøbsret.

Salpeteret, den væsentligste del af krudtet, ca. 70-80%, blev udvundet af den danske jord. Jorden i huse blev ved lov erklæret for kronens ejendom. Især jorden i krongodsernes stalde blev opgravet og kørt til en række salpeterværker, der var blevet oprettet rundt om i riget. Ved kongens ønske om i 1560 at engagere en salpetersyder, nævnes dette erhverv for første gang i dansk historie²⁸. Ældste kendte salpeterværk i Nysted omtales i 1563. Sydningen skulle foretå under tag, bl.a. i øde klostre. Kongen skulle fremskaffe eller betale for kar, kedler og andre nødvendige redskaber, samt sørge for alle transporter. Ifølge en kontrakt fra 1561 med salpetersyderne Gødert Baselman og Hans von Köllen skaffer kongen eksempelvis det nødvendige brænde til sydningen og aske til lutringen. Næste år skal de selv fremskaffe materialer, men får så en højere pris for hver tønde lutret salpeter leveret.

Tilsvarende skulle hver husholdning i Sverige i 1586 levere et læs brænde, en halv spand aske og noget halm samt bistå ved jordtransporter til det stedlige salpeterværk¹⁹.

Opgravning af gulvenes faststampede lerjord i fæstebønders

huse til brug for salpetersydning var ikke en populær ting hos beboerne. Men egnet gulvjord var så at sige eksproprieret til brug for kongelig salpeterfremstilling. De kongeligt udnævnte salpetersydere fik hver et distrikt, og her rejste de fra landsby til landsby og sydede af jorden dér under opsyn af lensmanden. »Men syderen skulle skikke sig tilbørligt og ikke ubeskedentlig kaste udi bøndernes huse eller på nogen deres grund eller ejendom til stor skade for dem, og hvor han havde opkastet eller opgravet salpeterjord, skulle han igen gøre grunden jævn førend han forlod stedet«. Han måtte – *især ikke mod betaling* – undlade at opgrave egnet jord!

Om salpetersydningen i Danmark ved vi en del. F.eks. er salpeterværket »æ Pitteragre«, Borlev ved Øster Starup, Vejle Amt fornylig blevet indgående beskrevet²³. Vi kender navne, bestallinger og regnskabsdetaljer, størrelse, indretning, udstyr, forbrug af jord og brændsel og produktion af salpeter over en årrække efter 1615. Salpeterjord – årligt ca. 1000 tønder gulve gravet op i distriktets fæstehuse og gårde under kronen – blev i sække på bøndernes hestevogne – ca. 500 læs årligt – kørt til salpeterværket. Her blev jorden iblandet fåremøg oplagret under tag i en stråtækt lade, så salpeteren ikke af regnvand blev vasket væk. Også store mængder af brænde måtte skaffes tilveje, formentlig *10 læs kløvet brænde* pr. læs jord eller *ca. pr. kg salpeter*. Strenge straffe nævnes for den, der snyder med salpeterjorden eller bruger brændet til brændevin at brænde.

Selve sydningen foregik i et separat *sydehus* med tegltag. Her var i en muret ovn anbragt to store kobbergruekedler. Jorden blev anbragt i trætønder eller kar af kobber med spunshul for neden og overhældt med vand. Vandforsyningen skete fra en gravet dam med vippeøse og render af træ på nedrammede egepæle, hvorved vandet kunne *løbe* ind i salpeterladen. Ligeledes løb senere luden herfra i render ind i sydehuset, hvor den blev indkogt. Herefter blev den sat til afkøling, hvorved saltene krystalliserede. Krystallerne blev på ny opløst i vand, og ved en efterfølgende indkogning blev produktet renere. Under kogningerne dannedes skum af mange slags urenheder. En tilsætning af aske skulle angiveligt gøre det nemmere at samle urenhederne og skumme dem væk. Salpeteret blev tørret i en muret »bageovn« og pakket i tønder el-

ler sække. Den årlige produktion fra værket i Koldinghus len var i 1622 så høj som ca. 500 kg lutret salpeter.

Udvindingen af dansk salpeter var dog ikke tilstrækkelig. Under den nordiske syvårskrig (1563-70) viste det sig, hvor vigtige store kanoner var for at erobre svenske fæstninger og vinde søslag²³. Der måtte derfor *importeres* såvel salpeter som færdigt krudt. Bl.a. byttede man sig i 1567 til krudt fra Antwerpen for islandsk svovl. Fra Danzig eksporteredes ad søvejen gennem Øresund store mængder af salpeter til Holland. Det kunne derfor opkøbes i Helsingør, når skibene sejlede igennem sundet. Men det kostede jo mange penge.

Også senere var der mangel på salpeter. Fra 1581 stammer et kongeligt forbud mod eksport af salpeter fra Skåne, og året efter blev al salpetersydning i Væ (Skåne) kongeligt monopoliseret under opsyn af lensmanden. Man var bange for, at en dansk eksport skulle øge nabolandenes militære styrke. Alligevel fristede de høje priser på salpeter mangel på salpetersyde til trods forbudet at eksportere i smug.

Disse forhold fortsatte under *Christian IV*. Fra 1615 anlagde kongen faste salpeterværker i ønsket om en mere rationel storproduktion. Fra alle egne af landet (Helsingborg, Malmø, Antvorskov²⁹, Vordingborg, Kalundborg, Dragsholm, Odense, Skanderborg m.fl.) skulle lensmændene ved hjælp af salpetersydere sørge for rigelig tilgang af salpeter i tøndevis til Københavns slot (Tøjhuset). Her blev råstofferne til krudtfabrikationen opbevaret. Der var mangel på hasselris, som man anså for uomgængelig nødvendigt til godt krudttrækul. Islands svovl lutredes stadig i svovlhuset på Københavns slot. Krudtmøller var der også visse steder i landet, men fabrikationen blev mere og mere koncentreret i Ørholm ved Mølleåen.

Omfanget har dog været begrænset. I 1591 skulle krudtmageren i Ørholm have 4 svende, men i 1598 nævnes kun to svende, og andre steder i landet har salpetersyderen og hans familie sikkert været ret alene om arbejdet.

Senere satte en *privatisering* af de tidligere kongeligt koncessionerede syderier ind. Offentligt ansatte salpetersydere skulle nu betales efter deres præstationer. I 1628 overtog to private borgere kornmøllen i Brede for at omdanne den til krudtmølle med pligt

til statsleverancer. Selv Ørholm bortliciteredes i 1653 til fri næring, men det pålås møllen i første række at forfærdige krudt til kronen af det salpeter, som salpetersyderne lavede rundt om i lenene. Hvis møllen skulle eksplodere eller brænde, afstod kronen dog fra at forlange erstatning, men genopbygningen var møllerens egen sag.

I 1654 omtales det i syder Aage Andersens bestalling, at han som salpetersyder i Koldinghus len skal samle *urin* i de nærmeste landsbyer for med denne at tilberede den allerede udludede jord i lange bede i salpeterladen, så den igen (efter tre år) kan blive til brugbar »salpeterjord«. Urinen skal samles »fra hus til hus, så meget er at bekomme« to gange om ugen.

For lettere at få bønderne til at aflevere urinen (der jo var anvendelig som gødning), skulle de til gengæld være fri for, at der blev gravet efter salpeterjord i deres huse.

Kendskabet til urinens betydning for dannelse af salpeter i jorden var altså i 1650'erne omsider nået til Danmark, efter at have været offentligt kendt (omend af en snæver kreds) i Tyskland allerede fra 1405 (Conrad Kyeser) og i England fra i hvert fald 1561 (Honrick), men hemmeligholdt⁷. Hvordan ville det være gået Danmark i de mange krige med svenskerne og tyskerne i 1400, 1500 og 1600-tallet, hvis man dengang havde ofret *uddannelsen af danske kemikere* lidt mere opmærksomhed og bragt den på niveau med forholdene i de bedste lande? Så havde Skåne måske endnu været dansk.

Under krigen 1657-1659 blev alle salpeterværker tilsyneladende jævnet med jorden af Karl X Gustavs svenske tropper. Det er interessant at notere sig, at hans succes som hærfører i hvert fald til dels var baseret på teknologi, præfabrikation af papirhylstre med krudtladninger (patroner)⁴.

I 1700-tallet blev salpetersydning efterhånden urentabel i sammenligning med salpeter indført fra Indien ad søvejen via England, og den lokale sydning ophørte derfor lidt efter lidt¹.

Der findes en glimrende beskrivelse³⁰ af krudtfremstillingen i Danmark i nyere tid (d.v.s. efter ca. 1720). Især bør vel nævnes fabrikant *Johan Frederik Classen* (1725-92), hvis fremsynethed, flid og betydelige talent muliggjorde iværksættelse og drift af såvel et mønsterværdigt krudtværk som et glimrende kanonstøbe-

ri, der skulle komme til at danne selve grundlaget for byen Frederiksværk, en virkning der stadig mærkes endnu i dag.

Nogle konklusioner, som vi kan drage

Mange af de små og store opdagelser, der skulle gøres, for at *kemiens store gennembrud omkring år 1800* kunne ske, er faktisk sket i løbet af en meget lang periode. Over en periode på mange hundrede år er man blevet mere og mere dygtige til kemi – takket være mange i dag helt glemte kemikeres (alkymisters) indsats – en indsats som ofte uberettiget hånes.

Et interessant aspekt er, at det synes som om, der er en meget stor mængde *energi at spare* ved en fornuftig kemisk teknologi (når menneskene nu engang vil forbruge det de vil, i dette tilfælde krudt). Kun skrap forbrugsbegrænsning kan tænkes at give større besparelser end *fornuftig kemisk teknologi*.

Det forekommer, som om der gælder den regel: Jo mere man lærer om kemien i gammel tid, jo mere fyldes man af respekt.

Den allervigtigste lære vi kan drage er måske, at en god uddannelse af kemikere er nødvendig for en tidssvarende teknologi.

APPENDIX

Moderne viden om krudtet

Et eksplosivt stof er karakteriseret^{6,27} ved at kunne gennemgå en hastig redox-reaktion under udvikling af gasser og varme. Atomerne, som reduceres og oxideres, er enten fra en og samme kemiske forbindelse eller, som i krudtet fra hvert sit stof.

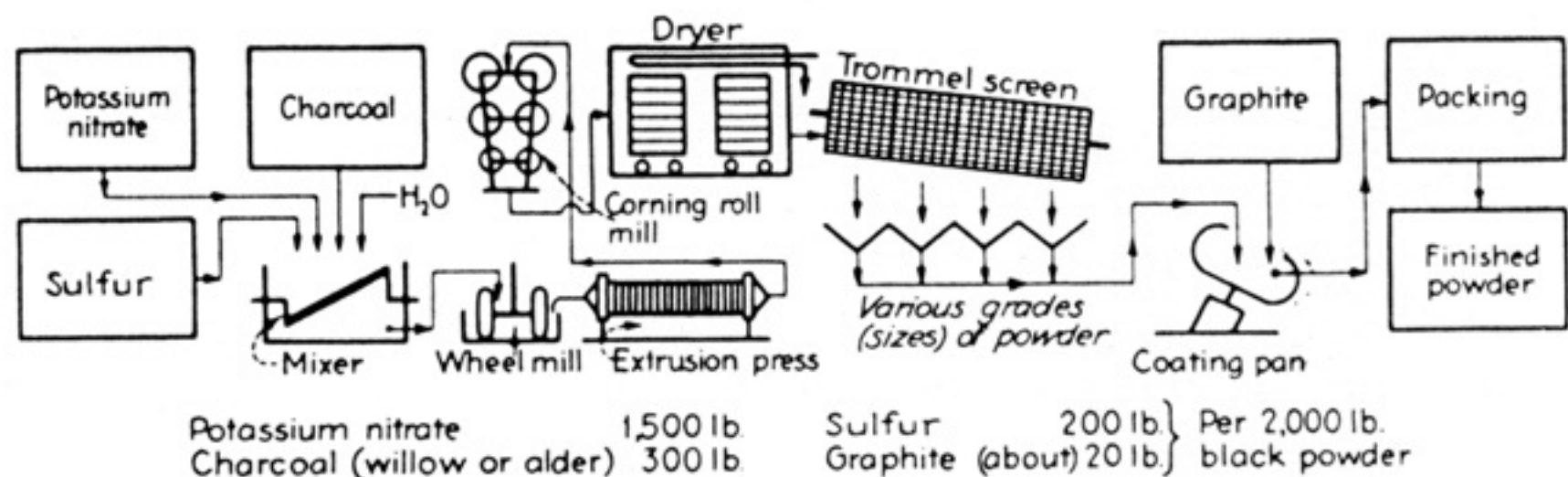
Et typisk træk ved et sprængstof er, at dets eksplosion må initieres (startes), f.eks. af opvarmning, slag eller en anden eksplosion, og at den derefter af sig selv forløber med stor hastighed.

Hastigheden af reaktionen er afgørende, mindre vigtigt for om en reaktion er en eksplosion eller ej er mængden af energi, der frigøres, blot det sker hurtigt nok. Et gram krudt i en patron frigør f.eks. kun ca. 3,3 kJ, men det sker på ca. 0,0005 sekunder. Den frigjorte gasmængde er ca. 270 cm³ (permanente) gasser foruden ca. 0,5 g faste stoffer.

Blandt reaktionsprodukterne finder man bl.a.^{6,31}: CO₂, CO, N₂, H₂S, H₂, K₂CO₃, K₂SO₄, K₂S, men reaktionen, der sker, når krudtet går af, er en meget kompliceret og kun delvist forstået kædeproces. Svovlets funktion i krudtet diskuteres stadig

blandt forskere: Skal dets rolle eksempelvis søges i dannelsen³² af kalium thio-nitrat KSNO_2 ?

Moderne krudt fremstilles som vist på figuren nedenfor, der stammer fra³¹. Kalium nitrat, svovl og trækul blandes i vægtforholdet 75:10:15 under tilsætning af vand. Findelingen sker meget intensivt i en mølle, hvor pulveret »køres over« af to tunge hjulromler. Derefter presses pulveret sammen til klumper, som igen formales passende i en mølle og tørres på bakker. Dette granulerede krudt sigtes på en tromlesigte i passende kornstørrelser. Til sidst overtrækkes krudtkornene med grafitpulver på en roterende pande. Grafitbehandlingen gør det bl.a. mindre fugtfølsomt. I dag er der forlængst kommet bedre sprængstoffer til, men krudtet bruges stadig til visse formål (tændsatser), blandt andet på grund af dets pris. I dag er alle stofferne til dets fremstilling jo billige kemikalier, og fremstillingsprocessen er omend farlig ret simpel.



Figur 20. Moderne krudtfremstilling.

Referencer

- ¹ J.R. Partington, »A History of Greek Fire and Gunpowder«, W. Heffer & Sons, Ltd. Cambridge, 1960.
- ² Kulturhistorisk Leksikon for Nordisk Middelalder, København 1969, Bind III, spalte 563-73.
- ³ P. Seth, »The first time it happened«, Oldham Books Ltd., London, 1970, Chpt. 1.
- ⁴ J. Burke, »Connections«, Macmillan Ltd., London, 1978.
- ⁵ J.M. Stillman, »Story of Alchemy and Early Chemistry«, Dover Publications, Inc., New York, 1924 & 1960.
- ⁶ T. Urbanski: »Chemistry and Technology of Explosives«, vol. III, Pergamon Press 1977, p. 323-64.
- ⁷ A.R. Williams, »The production of salpêtre in the middle ages«, Ambix vol. 22, 1975, p. 125-133.

- ⁸ E. Schmauderer, »J.R. Glaubers Einfluss auf die Frühformen der chemischen Technik«, *Chemie-Ing. Techn.* Vol. 42, 1970, p. 687-696.
- ⁹ E. Rancke-Madsen, »Kemiens Fødsel, C.E. Gad, København, 1987.
- ¹⁰ Kulturhistorisk Leksikon for Nordisk Middelalder, København 1969, Bind VII, spalte 481-486 og Bind IX, spalte 463-467.
- ¹¹ J.D. Bernal, »Science in History«, Penguin Books, London. Vol. 1, 1969, p. 320-23. Se også E.J. Holmyard: »Alchemy«, Penguin Paperbacks, 1957.
- ¹² Tøjhusmuseets vejledninger, Kanonhallen, København 1955.
- ¹³ Gmelin's Handbuch der Anorganischen Chemie, Band 4, Nitrogen, 1936, bl.a. side 52-63 om nitrifikation og salpeterudvinding.
- ¹⁴ Teknikkens Hvornår Skete Det, Historisk Opslagsbog, Politikens Forlag 1973.
- ¹⁵ T.K. Derry and Trevor I. Williams, »A Short History of Technology«, Oxford University Press, 1960 & 1970.
- ¹⁷ D.J.D. Nicholas, »Intermediary Metabolism of Nitrifying Bacteria«, *Microbiology*, 1978, p. 305-9.
- ¹⁷ J.R. Zietz, »The Pirotechnia of Vannocio Biringuccio«, *J. Chem. Educ.* 29, 1952, p. 507-10.
- ¹⁸ Vannoccio Biringuccio: »Pirotechnia«. 1540. Udgivet i kommenteret amerikansk oversættelse af a) C.S. Smith and M.T. Gnudi, American Institute of Mining, 1943 og b) D.J. Price, Basic Books, Inc., New York 1959.
- ¹⁹ Kulturhistorisk Leksikon for Nordisk Middelalder, København 1969, Bind XIV, spalte 689-691.
- ²⁰ Gmelin's Handbuch der Anorganischen Chemie, Band 22, Kalium, 1938, bl.a. side 269-291 og 1110-3 om kalium nitrat og dets opløselighed.
- ²¹ A.A. Blanchard m.fl.: »Synthetic Inorganic Chemistry«, J. Wiley, 1936, p. 52-58.
- ²² G. Bugge, »Schiess- und Sprengstoffe, und die Männer, die sie schufen«, Stuttgart, 1943.
- ²³ E. Vaaben, »Christian IV's salpeterværk i Kondinghus len«, *Vejle Amts Årbog*, 1982, p. 7-39.
- ²⁴ Casimiro Simienowicz, »Vollkommene Geschutz-Feuerwerck«, Frankfurt am Main, 1676.
- ²⁵ L. Hoffmann Barfod og J.C. Balling Jensen: »Krudtets Opfindelse«, *Dansk Kemi* 1982, Nr. 12, 342-47.
- ²⁶ E. Rancke-Madsen, »Grundstoffernes Opdagelseshistorie«, C.E. Gad, København, 1984.
- ²⁷ T. Moeller, J.C. Bailar, J. Kleinberg, C.O. Guss, M.E. Castellion and C. Metz, »Chemistry«, Academic Press, London, 2.nd Edition 1984, p. 863-4.
- ²⁸ A.E. Christensen, »Industriens Historie i Danmark«, Bind 1, 1943, p. 25-26, 33-34 og 71-72.
- ²⁹ P.H. Bernholm: »Antvorskov gennem tiderne til vore dage«, Det Schönbergske Forlag, 1942.
- ³⁰ Egon Eriksen, »Krudtværket på Frederiksværk 1758-1958«, Udgivet af Krudtværket, Frederiksbærk 1958. 240 s.
- ³¹ B. Norris Shreve, »Chemical Process Industries«, Mc Graw-Hill Book Co., 3rd edition, 1967, p. 383-406.
- ³² F. Seel, »Sulfur in History, The role of sulfur in black powder«, i »Sulfur«, *Studies in Inorganic Chemistry*, Vol 5, 1984, 55-66.