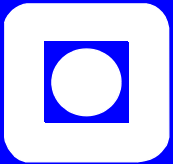


*Tore Haug-Warberg, Hilde Ervik,
Nils Kr. Rossing*

Fra jern til rust til maling og tilbake



NTNU



Trondheim

Institutt for
lærerutdanning

Skolelaboratoriet
for matematikk, naturfag
og teknologi

Mars 2017

Fra jern til rust til maling og tilbake

Tore Haug-Warberg,
Hilde Ervik, Nils Kr. Rossing

ISBN 978-82-7923-

ISSN

Fra jern til rust til maling og tilbake

Trondheim 2017

Layout og redigering: Nils Kr. Rossing, Skolelaboratoriet ved NTNU

Trykk: NTNU Grafisk senter

Tekst og bilder: Tore Haug-Warberg, Institutt for kjemisk prosesseteknologi
Hilde Ervik, Nils Kr. Rossing, Skolelaboratoriet ved NTNU
Stig Mårstad, Byåsen vgs

Faglige spørsmål rettes til:

Skolelaboratoriet for matematikk, naturfag og teknologi

v/ Hilde Ervik hilde.ervik@ntnu.no og

Nils Kr. Rossing nils.rossing@ntnu.no

Skolelaboratoriet ved NTNU

Realfagbygget,

Høgskoleringen 5,

7491 Trondheim

Telefon: 73 55 11 43

Telefaks: 73 55 11 40

<http://www.ntnu.no/skolelab/>

Rev 1.5 – 03.03.17



Forord

Det hele startet med en henvendelse fra professor emeritus Arne Espelund våren 2014 til Skolelaboratoriet. Han ville gjerne vise oss restene etter gamle ovner for utvinning av kobber- og jern oppover i Gauldalen. Arne viste fram en rekke av sine bøker om relaterte tema, ikke minst hans siste bok “*The evidence and the secrets of ancient bloomery ironmaking in Norway*” som han ga ut 2013. Som så mye annet var jo dette interessant, om enn noe på siden av mitt (Nils Kr.) fagområde. Ut i september tok Arne kontakt på nytt og lurte på om vi ikke snart burde tatt en tur opp over dalen før det ble for kaldt og snøen la seg på bakken.

26. oktober 2014 dro vi avgårde med bil og første stopp var *Leset smeltehytte*, ikke langt fra Holtålen. Her møtte vi Tor Aas og kona, som hadde sammenfallende interesser med oss. Tor hadde dessuten bakgrunn som lektor i videregående skole.



Det skulle vise seg at Arne i samarbeid med Institutt for metallurgi og lokale krefter hadde flyttet og satt opp en koié på stedet og laget en merket løype i området med plakater som beskrev virksomheten for framstilling av kobber. Her var stedene for *kaldrøsting*, *skjærsteinsmelting* i smelteovner med tilhørende blåsebelger, og ovner for *venderøsting* lokalisert og merket. Selv om restene av smeltehyttens mange prosesser var vanskelig å få øye på for en lekmann, var stedet en idyll og åndet av fordums høyteknologi.

På hjemturen var det vanskelig å unngå et besøk i Budalen for å se på de gamle restene etter bles-terovnene fra perioden 980 –1040 e.Kr, og hvor Arne gjennom mange år hadde vært med på utgraving av smelteovner og slagghauger. I tilknytning til stedet er det også bygget opp et bygdemuseum.



Figur 0.1 Rester etter bles-terovn ca. fra år 1000 (t.v.) og modell fra Elvestad ovn (t.h)

En fullskala modell av Elvestad ovnen er også bygget opp på stedet. Denne var blant annet mye brukt i Østerdalen på 1700 tallet og ble så godt dokumentert av lensmann og bonde Ole Elvestad at det har vært mulig å framstille jern i modellovn.

Ut over vinteren 2014–15 ble det diskutert innad på Skolelaboratoriet om vi skulle forsøke å lage et undervisningsopplegg knyttet til temaet. Vi følte imidlertid at vi trengte noen praktiske øvelser som kunne levendegjøre prosessen fra malm til jern.

På forsommeren 2015 ble det så organisert en ny tur oppover Gauldalen med Arne Espelund som guide. Denne gangen stilte vi 5 stykker¹ fra Skolelaboratoriet i tillegg til Arne som hadde fått med seg Tore Haug-Warberg fra Institutt for kjemisk prosesseteknologi. Vi dro først opp til Rauvella ved Namlåmyra i Singsås som hadde tydelige forekomster av oker (se bildet til høyre). Vi fant også myrmalm under torva rundt. Her ble det sanket inn oker samtidig som vi var enige om at slike steder burde “fredes”.



Deretter gikk turen på nytt til Leset hvor restene etter smeltehytta og framstilling av kobber ble studert. På hjemturen besøkte vi som sist utgravningene i Budalen. Bildet til venstre viser slagg fra blesterovnene i Budalen.

I september 2015 hadde vi et møte på kontoret til Tore Haug-Warberg hvor han hadde gjort noen forsøk med elektrolyse med bruk av blybatterier som elektroder for å framstille “myrmalm” i laboratoriet, hvilket så ut til å kunne bli en meget sammensatt og lærerik laboratorieoppgave for elever i videregående skole.

1. Hilde Ervik, Nina Aalberg, Ellen Andersson, Maren Skjelstad (nå Fredagsvik), Nils Kr. Rossing



Ut over høsten ble forsøket utviklet samtidig som ideen om at dette måte kunne danne grunnlaget for en masteroppgave innen naturfagdidaktikk.

Tidlig i januar 2016 møttes vi på laboratoriet ved Skolelaboratoriet for å sette opp laborieforsøket hvor elektrolysen skulle starte tidlig på morgenen og gå gjennom hele arbeidsdagen. Flere forsøk ble gjennomført hvor også Arne Espelund ble invitert (bildet til høyre). Vi hadde også med oss masterstudent Geir Andreas Slotten som hadde bestemt seg for å velge dette som tema for sin masteroppgave. Og lærer Ottar Ryen fra Berkåk.



I mars 2016 ble det holdt et videreutdanningskurs for lærere som underviste faget Teknologi og Forskningslære. 20. april ble det holdt et seminar ved Skolelaboratoriet om blestring av jern, hvor Arne Espelund sammenfattet sine funn i Gauldalen og Tore Haug-Warberg fortalte om arbeidet med undervisningsopplegget. I tillegg var det omvisning og besøk ved Institutt for metalurgi og demonstrasjon av termittprosessen ved Per-Odd Eggen.

I mars 2017 er det igjen klart for å holde lærerkurs, denne gangen etterutdanningskurs over temaet.

Dette heftet er ment som en oppsummering av prosjektet og et ressurshefte for lærere som tar kurset: *Fra jern til rust og tilbake igjen.*

Skolelaboratoriet ved NTNU
Mars 2017

Tore Haug-Warberg
Hilde Ervik
Nils Kr. Rossing



Innhold

1	Innledning	11
2	Fra jern til malm	12
2.1	Litt bakgrunnskunnskap om myrmalm	12
2.2	Litt bakgrunnskunnskap om jern	13
2.3	Forsøk: Fra jern til “malm”	15
2.3.1	Utstyr	15
2.3.2	Forberedelser	16
2.3.3	Gjennomføring	18
2.3.4	Etterarbeid	18
2.3.5	Hypoteser og beregninger	19
2.3.6	Målinger	20
3	Foredling av malmen	22
3.1	Framstilling av maling	22
3.1.1	Litt bakgrunnstoff om oker	22
3.1.2	Utstyr	24
3.1.3	Framstilling	24
4	Fra malm til jern	26
4.1	Myrjernets teknologihistorie	26
4.1.1	Jernframstilling i Norge	26
4.1.2	Jernframstilling i Afrika	28
4.1.3	Jernframstilling i Europa	29
4.2	Blesterovnen en modell	30
4.3	Blesterovnen – en modell for bruk i skolen	36
4.3.1	Bygging av blesterovn – et skoleprosjekt	36
4.3.2	Uttesting av blesterovnen	36
4.3.3	Bruk av manuell metode	38
4.3.4	Reaksjonsligningene	39
4.3.5	Påvisning av oksider	39
4.4	Termittreaksjon	40
5	Referanser	42
	Vedlegg A Alternativt oppsett	43
	Vedlegg B Bruk av Spark datalogger	44



1 Innledning

Forsøkene som beskrives i dette heftet kan utvides til å omfatte større eller mindre deler av prosessen *fra jern til malm til maling og tilbake*. I denne sammenhengen er malm det vi henter ut av myra eller lager i laboratoriet ved hjelp av elektrolyse.

Opplegget kan vinkles på forskjellig måte slik at en kan fordype seg i ulike deler av kjemien. Forsøkene kan legges til rette for læring av:

1. Elektrolyse (hydrogengass)
2. Korrosjon (forbruk av jern) og katodisk korrosjonsbeskyttelse
3. Ideell gasslov (volum av hydrogengassen)
4. Faradays konstant (forbruk av jern pr. ladning tilført)
5. Kjemisk støkiometri (forholdstallet mellom forbruket av jern og produsert oksid)
6. Elektrisk ladning (strømforbruk integrert som funksjon av tid)
7. Termittreaksjon
8. Forskningslære ifb. med hypotesetesting

Biproduktet er et rødt pigment som attpåtil er magnetisk. Det dannes ingen skadelige stoffer under forsøket. pH etter endt elektrolyse er omtrent som i rent vann.

Et Bunsen-kalorimeter (is-kalorimeter) gir rom for to nye observasjoner:

9. Oppvarming pga Ohm'sk motstand (Joules forsøk fra 1843-1847)
10. Oppvarming iht. reaksjonen: $\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{FeO}$

Vi kan nå bestemme inntil seks fysiske størrelser:

1. Oksidasjonstallet av Fe i elektrolyseproduktet
2. Oksidasjonstallet av Fe i røsteproduktet
3. Den universelle gasskonstanten
4. Faradays tall
5. Varmens mekaniske ekvivalent iht Joule
6. Reaksjonsvarmen til: $\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{FeO}$

I kapittelet "Fra jern til malm" berører vi temaene *elektrolyse* og *korrosjon*. I kapittelet "Foredling av malmen" ser vi framstilling av *pigment* og registrerer at dette er *magnetisk*, og i kapittelet "Fra malm til jern" berøres temaene *blestring* og *termittreaksjon*.

2 Fra jern til malm

I dette forsøket skal vi framstille malm eller oksidert jern fra blikkbokser. I vår sammenheng vil denne kunstig framstilte malmen erstatte malm hentet fra myra. Oksidasjonen skjer ved hjelp av en elektrolyseprosess.

Man kan ikke produsere store mengder malm på denne måten, men 20–30 g pr. døgn er mulig. Det eneste som trengs er et par blikkbokser, strømforsyning og litt bordsalt (for å bedre lednings-evnen til vannet), laboratoriestativer, Ampere-meter og ledninger. Det dannes ingen skadelige stoffer under forsøket. pH etter endt elektrolyse er omtrent som i rent vann. Jernpigmentet i den kunstig framstilte “malmen” er magnetisk.

Men la oss først se litt på hvordan myrmalm oppstår naturlig.

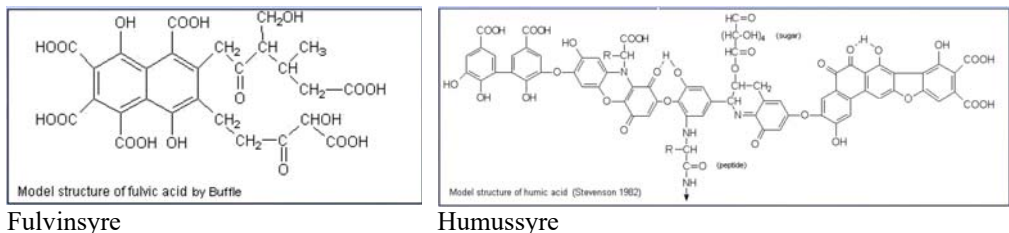
2.1 Litt bakgrunnskunnskap om myrmalm

Humus kommer av latin og betyr kort og godt jord. Humus eller jord er nedbrutt plantemateriale med egenskaper som avhenger av klimatiske forhold og hvilke planter som vokser på stedet. Humus inneholder en mengde små organiske partikler (kolloider) som kan holde på store mengder vann er med på å forbedrer jordsmonnet².

Humussyre er den delen av humus som er løselig i vann, men ikke før surhetsgraden er høyere enn 2 (pH > 2). *Fulvinsyre* (“Folvic acid”) forblir i løsning etter fjerning av humus ved surgjøring. Begge syrene danner metallkomplekser som særlig binder Al, Fe og Mn, og er tilstede i alt jordsmonn tilhørende skog og myr. Av den grunn er de sentrale for danning av myrmalm.

Kompleksene følger sigevannet ned til 10 – 100 cm hvor de felles ut på mineralkorn på grunn av stigende pH. Denne prosessen kan føre til danning av *aurhelle* – en forurenset variant av myrmalm.

Figur 2.1 viser den kjemiske strukturen for humussyre og fulvinsyre.



Figur 2.1 Kjemisk struktur for fulvinsyre og humussyre.

2. <http://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/h/humus.html>



Grunnvannets betydning

Er grunnvannsstanden høy, kan kompleksene nå helt ned til grunnvannsspeilet, hvis mikrobiologisk aktivitet samtidig fører til oksygenunderskudd. Dette reduserer $\text{Fe}^{3+} \Rightarrow \text{Fe}^{2+}$ som er lett-løselig i vann. Jernet er nå løsrevet fra komplekset og følger med grunnvannet. Dette gjelder også Mn, men ikke Al. Nedstrøms kan grunnvannet komme frem i dagen i myrlandt terreng, hvis terrenget tillater det. Jernet blir da oksidert tilbake til Fe^{3+} i et miljø fritt for mine-ralkorn. Fordi 3-verdig jern er uløselig i vann, felles det ut som $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dvs. rust. Tilsvarende gjelder også mangan, men ved en høyere pH, dvs. dypere ned i myra.



Figur 2.2 Myrmalm fra Rødungen/Bergsjø i Ål. Foto ©Tore Haug-Warberg (2015)

Myrmalmens form og farge

Rust omdannes over tid til (mest) *gøthitt* og (kanskje) *lepidocrocitt* som er to krystallinske former av et mineral med sammensetning FeOOH . Utfelt i myr hemmes krystallveksten av humus- og fulvinsyrer og utfellingen forblir røngten-amorf (manglende krystallinsk orden). Det er dette vi kaller myrmalm. Syrene er med andre ord aktive både ved forvitring av berg og senere, ved pre-servering av myrmalm.

Myrmalmen kan ha konsistens som flak, erter, gryn eller nøtter. Fargen varierer mellom brunt og nesten svart, og skal ikke knase ved tygging. Knasing tyder på innblanding av medrevet sand eller silt.

2.2 Litt bakgrunnskunnskap om jern

Før beskriver selve forsøket, skal vi se litt på jernets fysikalsk-kjemiske egenskaper.

Jern har kjemisk symbol Fe, fra latinsk *ferrum* som betyr nettopp *jern*. Jern kan forekomme i ulike former med oksidasjonstall fra -2 opp til 6 , men 2 og 3 er mest vanlig. Jern er det fjerde mest vanlige grunnstoffet i jordoverflaten (5% vekt) etter oksygen, silisium og aluminium. Jern har dessuten den laveste energien pr. nukleon og utgjør dermed siste stopp i en stjernes liv. Jern er det eneste av antikkens syv metaller som fortsatt kan lages med samme teknikk og samme råstoff som før år 0. Jern finnes sjeldent i ren (gedigen) form, Ovifak på Grønland er unntaket. Jern er også avgjørende for jordmagnetismen. Uten jern ville jorda ikke hatt noe magnetfelt, og uten magnetfelt ville vi ikke hatt noe vann, og uten vann ville ikke liv eksistere i den form vi kjenner det i dag.

Helt rent jern korroderer langsomt i nøytralt miljø, men slagginnslutninger og lavt innhold av svovel og fosfor virker også gunstig. Det viser seg faktisk at 150 år gamle klinkbygde skip av jern holder langt bedre enn nyere skip bygd av moderne varmvaset stål. Imidlertid forringer større mengder forurensinger av svovel eller fosfor bestandigheten vesentlig.

Tilsats av karbon (over 0.7% vekt) kalles herdbart jern (stål) og tilsats av krom (over 17% vekt)

kalles *rustfritt jern* som er stabilt i oksiderende miljø. Tilsats av nikkel og molybden kalles *syrefast jern* som også tåler reduserende miljø. To legendariske kvaliteter av jern, som i dag må anses å være tapt teknologi, er Damascener- og Wootz-stål.

Damascener-stål var en type stål som ble brukt til produksjon av sverd og kniver (Damascener-klinger) i det nære Østen og var basert på bruk av Wootz stål. Disse sverdene er preget av karakteristiske båndlignende mønstre eller marmorering som kunne minne om rennende vann. Slike blader ble kjent for å være særdeles motstandsdyktig mot knusing og i stand til å bli slipt til en skarp, spenstig egg.

Stålet er oppkalt etter Damaskus, hovedstaden i Syria. Det kan enten referere til sverd laget eller solgt i Damaskus direkte, eller på grunn av likhet med damaskstoffer (som igjen er oppkalt etter Damaskus).



Figur 2.3 Strukturen i Damask stål

Den opprinnelige metode for å produsere Damascener-stål regnes i dag som tapt. Forsøk på å gjenskape metoden i nyere tid har ikke vært helt vellykket på grunn av forskjeller i råvarer og produksjonsteknikker. Flere personer i moderne tid har imidlertid hevdet at de har gjenopplaget de metodene som ble brukt for å produsere det originale Damaskus-stålet.

Omdømme av Damascener-stål har gitt opphav til mange legender, for eksempel ble det fortalt at et slik sverd var istand til å skjære gjennom løpet til et gevær, eller å dele et hår som falt over bladet. Et forskerteam i Tyskland publiserte en rapport i 2006 som avslørte karbon nanorør i et blad smidd av Damascener-stål. Selv om enkelte typer moderne stål utkonkurrerer disse sverdene, så gjorde de kjemiske reaksjonene under produksjonsprosessen sverdene ekstraordinære for sin tid. Damascener-stål var plastiske og harde på samme tid. Det sies at under framstillingen av Wootz råmaterialet ble det tilsatt trevirke og blader for å karbonisere jernet samtidig som jernet hadde forekomster av andre mineraler som niob, vanadium, titan, molybden, zirkon og bor. Råmaterialet ble så ytterligere smidd og ble etter hvert til Damascener-klinger. Forskere har oppdaget at karbon nanorør kan være avledet fra plantefibre, som forklarer hvordan nanorør har havnet i stålet.

Rust (jernutfelling)

Med jernutfellinger menes i hovedsak ulike oksider og hydroksider av 3-verdig jern (Fe^{3+}). Disse dannes ved at oksygenfattig grunnvann løser opp jern fra forvitret berg. Dette er mulig fordi 2-verdig jern (Fe^{2+}) er lettloslig i vann. Når grunnvannet kommer opp i dagen (nedstrøms) tar det til seg oksygen som reagerer da med Fe^{2+} og danner Fe^{3+} som er uløselig i vann. Til daglig kaller vi slike utfellinger for *rust*.

Det fins flere slag rust, alt avhengig av miljøet de er dannet i. De fem viktigste er oppsummert nedenfor:

1. Limonitt = utfelt rust, myrmalm, $\text{FeO}(\text{OH}) \times n\text{H}_2\text{O}$
2. Gøthitt = gul eller brun oker, $\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$



3. Lepidokrositt (hydrohematitt) = mineralisert gøthitt, $\gamma\text{-FeO(OH)}$
4. Maghemitt = varmebehandlet gøthitt, $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$
5. Hematitt = rød oker, bergartsmineral, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$

2.3 Forsøk: Fra jern til “malm”

2.3.1 Utstyr

Listen under inneholder det som trengs for framstilling av “malmen”.

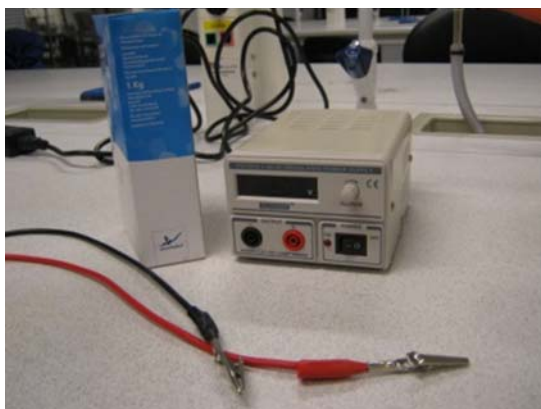
- Strømforsyning (se under)
- Ampere-meter med måleområde 10 A (standard multimeter)
- Laboratoriekabler med krokodilleklemmer
- Klokke eller datalogger
- Vekt (med nøyaktighet 0,01 g)
- Laboratoriestativ med klemmer
- Blikkboks (1 stor, 2 små) - (fiskeboller og tomatpuré)
- Målesylinder (500 ml)
- Plastbakker
- pH-papir
- NaCl (2 g salt i 20 ml vann)

Strømforsyning

Alternativ 1

Det benyttes en ordinær strømforsyning for likespenning (figur 2.4). Denne vil gi et varierende strømforløp under prosessen. Man kan enten lese av med korte mellomrom (hvert 5. min.) og framstille forløpet som funksjon av tiden. For å finne total tilført ladning, integreres forløpet med hensyn

til tiden, gjerne på millimeterpapir, slik at elevene får et håndfast forhold til hva en graf er³. Eller man kan bruke en datalogger (f.eks. SPARK) slik vi har gjort, da vil grafen tegnes automatisk under elektrolysen og arealet under grafen beregnes med noen få tastetrykk, se Vedlegg B.



Figur 2.4 Tradisjonell strømforsyning, bordsalt og laboratoriekabler

3. En graf kan være vanskelig å integrere. Dersom man har en nøyaktig vekt kan man klippe ut arealet under grafen å veie det. Kjenner man vekta til et enhetsareal (Ampere x sekund), kan man lett finne arealet under grafen.

Alternativ 2

Strømforsyning med konstant strøm oppnås ved f.eks. ved å bruke strømregulatorer for LED. Disse leverer typisk 350 mA, 700 mA, eller 1200 mA avhengig av type. Man trenger i tillegg en vanlig spenningsforsyning som kan levere den aktuelle strømmen. Les for sikkerhets skyld av strømstyrken med tidsintervaller på 10, 20, eller 30 min. Siden strømmen vil være konstant, er det lett å beregne den total ladningen som er tilført elektrolyseprosessen.



Figur 2.5 Strømregulator for LED

2.3.2 Forberedelser

1. Fjern lakk og etikett på hermetikkboksene ved å varme opp over en Bunsenbrenner til boksene gløder eller ved å legge dem i en vedovn (figur 2.6). Skrubb boksene med stålull slik at metallet blir synlig.
2. Bruk en boksåpner og lag en åpning i bunnen til den vesle boksen slik at vannet slipper inn.
3. Vei den store og den lille blikkboksen og noter vekten.
4. Lag en saltoppløsning av 2 g NaCl i 20 ml vann.
5. Monter utstyret som vist på figur 2.7.
6. Den store blikkboksen settes i plastbakken og stabiliseres ved hjelp av et lab. stativ som vist på figur 2.7.
7. Den minste boksen monteres slik at den henger fritt inne i den store boksen. NB! Det er særdeles viktig at de to boksene ikke berører hverandre. Her kan man bruke lab. stativet og en klype for å holde reagensrør for å holde boksen på plass (t.v. figur 2.7). Alternativt kan en bruke Petri-skål og plastbestikk, se Vedlegg A.



Figur 2.6 Lakk og etiketter fjernes

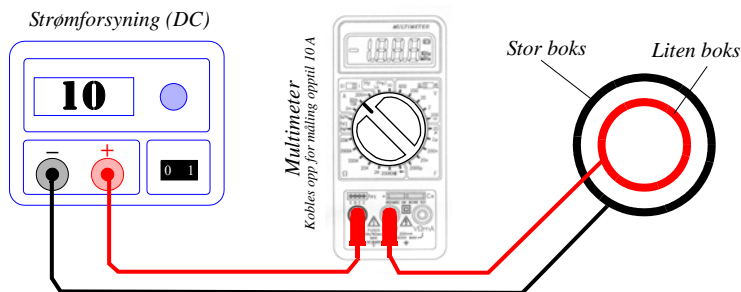


8. Strømforsyningen kobles til med pluss på den vesle boksen og minus på den store boksen. Sett spenning til 10 V



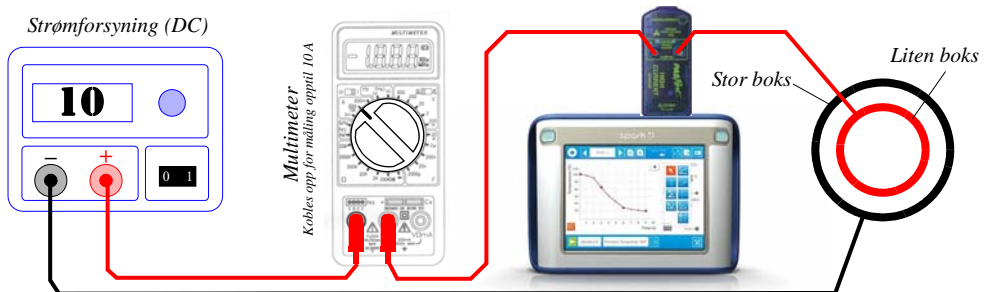
Figur 2.7 Måleoppstilling

9. Ampere-meteret settes i posisjon 10 A og kobles inn i kretsen.



Figur 2.8 Elektrisk oppkobling med Ampérmeter

Figur 2.9 viser hvordan man kan koble inn dataloggeren med strøm spenningsmåler



Figur 2.9 Elektrisk oppkobling med Ampérmeter og datalogger.

Merk at dataloggeren og Ampérmeteret er koblet i serie. Årsaken er for å sikre at man har full kontroll over strømmen.

10. Fyll boksen med 450 ml springvann

2.3.3 Gjennomføring

11. Ved bruk av datalogger. Start datalogging nå.
12. Slå på strømmen. Det skal nå gå svært lite strøm i kretsen siden rent springvann er en dårlig leder.
13. Ta litt bordsalt (NaCl) oppløsning i en pipette og drypp dråper med salt-oppløsning opp i vannet, mens du rører og holder øye med strømmen. Stopp når strømmen er mellom 0,5 – 1,0 A.
14. Det skal boble gass opp langs kanten av den ytterste boksen.
15. Ved bruk av datalogger (SPARK) og strøm-spenningsprobe bør en ikke starte med høyere strøm enn 0,5 A, da proben tåler maks. 1 A og strømmen gjerne stiger litt i løpet av målingen. Dersom strømmen skulle stige opp mot 1 A, senker man bare spenningen ut fra strømforsyningen slik at strømmen reduseres.



Figur 2.10 “Malmen” dannet ved elektrolyse.

16. Mål pH ved å dyppe pH-papir på innsiden av den store boksen og på yttersiden av den lille boksen. Noter resultatene.
17. Ganske raskt dannes det et lag av jernoksid på overflata av saltvannet som fyller boksen. Etter ca. 8 timer (en arbeidsdag) er det dannet mellom 10 – 20 gram “malm”.
18. Mål pH på nytt ved å dyppe pH-papir ned på innsiden av den store boksen og på yttersiden av den lille boksen. Noter resultatene.

2.3.4 Etterarbeid

19. Etter at elektrolysen er avsluttet, overføres massen til en 500 ml målesylinder (figur 2.11).
 20. La den stå i ca. 1 time slik at det “malmen” synker til bunns. “Malmen” synker med ca. 10 cm i timen
 21. Dekanter den klare væsken øverst i målesylinderen
- Etter tørking er malmen klar til videre behandling.



Figur 2.11 Dekantering av væsken

18 Fra jern til rust til maling og tilbake



Tilslutt:

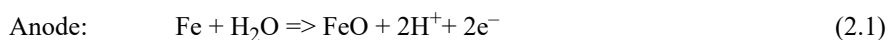
- Vask boksene og la dem tørke (eventuelt i et tørkeskap).
- Vei den store og den lille boksen på nytt. Noter ned resultatene. Har vekten hos noen av boksene endret seg etter gjennomført elektrolyse?

2.3.5 Hypoteser og beregninger

Før forsøket gjennomføres, kan en sette opp to hypoteser mht. hvilke reaksjoner som foregår under elektrolysen. Begge hypotesene forutsetter måling av pH:

Hypotese I

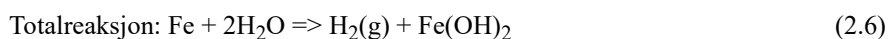
Forslag til reaksjonsligninger under hypotese I:



Reaksjonen leder til surt miljø ved anoden og basisk ved katoden med Na^+ og Cl^- som motioner slik at elektronnøytraliteten blir bevart.

Hypotese II

Forslag til reaksjonsligninger under hypotese II:



Leder fortsatt til surt miljø ved anoden og basisk ved katoden, men molmassen av $\text{Fe}(\text{OH})_2$ er ca. 20% høyere enn molmassen av FeO . Dette bør kunne skilles ved hjelp av veiing. Merk også at pH lokalt ved anode og katode vil være en funksjon av mengden tilsatt NaCl . Jo mer salt, jo større utslag i lokal pH. Etter endt elektrolyse skal pH være omtrent lik 7 siden det ikke dannes vannløselige komponenter.

Følgende beregningseksempel kan være nyttig under beregninger:

- Vi antar at det er tilført 1,00 Ah ladning (basis for beregningene)
- Målt forbrukt jern ved anoden: 0,84 g Fe etter veiing av liten boks
- Målt utfelt tørrstoff ved anoden ("malm"): 1,15 g FeO ev. 1,44 g $\text{Fe}(\text{OH})_2$
- Mengde gass som bobler opp fra katoden: 444 cm^3 H_2

Alle disse størrelsene kan veies eller måles på enkelt vis!

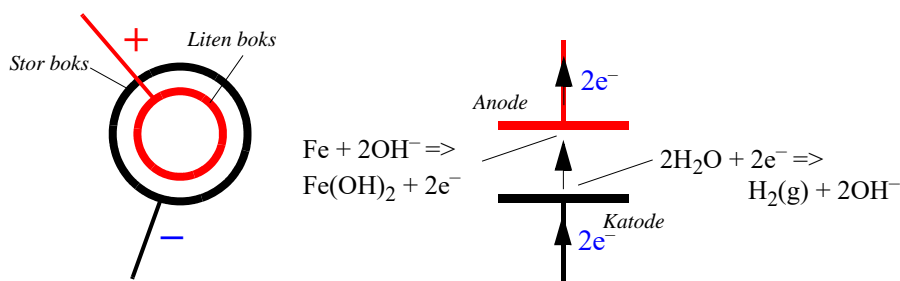
2.3.6 Målinger

La oss se litt nærmere på hva som egentlig skjer i denne prosessen. For å beskrive hva som skjer har vi valgt å gå ut fra hypotese II uten at dette nødvendigvis er den riktige hypotesen.

Elektrolyse av vann ved bruk av 2 jernelektroder kan beskrives ved hjelp av to halvreaksjoner:



I en elektrisk krets vil elektronene gå fra den negative elektroden til den positive. Dvs. at vannmolekylet (H_2O) tilføres to elektroner ved katoden og spaltes i hydrogen som forlater væsken som gass ($\text{H}_2(\text{g})$) og OH^- -ioner som vandrer i oppløsningen. Det er derfor et godt tegn dersom vi ser gass stige opp langs kanten av den ytterste boksen. Dette skal være hydrogengass.



Ved anoden vil jernet (Fe) sammen med OH^- ionene danne $\text{Fe}(\text{OH})_2$ samtidig som de avgir sin negative ladning (2e^-) til anoden:



Totalreaksjonen blir:



I virkeligheten blir det sikkert også dannet noe 3-verdig jern og i alle fall endel $\text{FeO} \times \text{Fe}_2\text{O}_3$ (magnetitt). Om dette skjer under elektrolysen eller etterpå er vi noe usikre på.

Vi vet nå at jernet i oppløsningen kommer fra den vesle boksen i midten (anoden), denne vil minke i masse noe vi kan måle med en vekt.

Følgende resultater er hentet fra et forsøk gjennomført 8. jan. 2016:



Masse liten boks før elektrolyse: 14,347 g

Masse liten boks etter elektrolyse: 13,205 g

Massetap 1,142 g

Molvekta til jern er 56 g/mol

Vi har altså fått dannet m mol med jern:

$$m = \text{massetap/molvekt} = 1,142 \text{ g}/56 \text{ g/mol} = \underline{0,0204 \text{ mol}}$$

Under analysen kunne avlese den totale ladningen som var blitt transportert gjennom oppløsningen. Dette fant vi ved å bestemme arealet under strømgrafene på dataloggeren (se figur 2.12⁴).

Målingen viste en total ladningstransport lik 4044,69 C.

Faradays konstant (F) er et uttrykk for ladning pr. mol. I tillegg må man ta hensyn til antall elementærladninger pr. ion. Vi kan da kontrollere våre målinger ved å sette opp følgende sammenheng:

$$F = \frac{\text{Ladningstransport gjennom oppløsningen}}{\text{Massetap i mol jern} \times \text{antall elektroner pr. ion}} = \frac{Q}{m \times n} \quad (2.11)$$

$$F = \frac{4044,69 \text{ C}}{0,0204 \text{ mol jern} \times 2} = 99\,134,56 \text{ C/mol} \quad (2.12)$$

Det offisielle tallet for Faradays konstant er 96 485,3365 C/mol, dvs. vi fikk et avvik på ca. 2,7%, altså i overkant av den offisielle verdien.



Figur 2.12 Ladningstransporten gjennom oppløsningen finner vi å beregne arealet under strømgrafene.

4. Merk at grafen på bilde ikke er i overensstemmelse med dataene som er brukt.

3 Foredling av malmen

Når man har hentet ut, eller framstilt jernmalmen, er det naturlige å foredle malmen til jern. Det skal vi se nærmere på i det neste kapittelet. Her skal vi se hvordan malmen i seg selv kan videreforedles til f.eks. maling.

3.1 Framstilling av maling

I dette avsnittet skal vi beskrive hvordan vi kan framstille maling av den tørkede malmen.

3.1.1 Litt bakgrunnstoff om oker

Jernutfellinger gir gode, varige og lysekte pigmenter. Oker refererer til gule og røde jernforbindelser, såkalte jordfarger. Klassisk rød låvemaling, kalt *engelsk rød*, er jernpigment. For Norges del handler det sannsynligvis om utfellinger fra glasial tid.

A. Åsheim og H. Rueslåttén (2010) forteller at det omkring år 1910 på gården Rindebakken i Fyresdal, ble drevet uttak av slike jordfarger basert på en lokal forekomst. Forekomsten ble drevet som dagbrudd.

Nydannet oker er gul (gøthitt). Det vil (eller kan) etterhvert omdannes til rød oker (hematitt). Omdanningen er treg, men går hurtig ved temperaturer over 450°C. I Finland er det påvist at slik omdanning kan skje på skogbranntomter.

Gul oker glødet i luft gir omdanning til *svart magnetitt*. Denne kvaliteten ble av Rindebakken markedsført som “kasselbrunt”, men det må være feil betegnelse. Handelsvaren kasslerbrunt er nemlig et organisk stoff laget av brunkull.



Figur 3.1 Fersk oker ved Raudvella fra Namlåmyra i Singsås.
Foto: © Tore Haug-Warberg (2015)

Oker er gjerne forurenset av aluminium og silisium. Aluminium transporteres med surt grunnvann mens silisium kommer fra følgemineraler.

Oker er ikke myrmalm

Oker dannes etter samme prinsipp som myrmalm, men uten kontakt med myr. Det dannes heller ikke i kontakt med sand eller morene for det gir *aurhelle* (forurenset av sand og grus). Derimot



dannes det på bunnen av grunt, stillestående vann. Passe grunt for å gi tilgang på oksygen, og passe dypt slik at bølgene ikke vasker vekk utfellingen.

Der hvor grunnvannet pipler opp gjennom sjøbunnen, felles det ut som fast *sjømal*m som vokser opp nedenfra. Der hvor grunnvannet periodevis fyller hele bassenget avsettes oker som felles ut ovenfra.

Sjømalmen i Nord-Odal⁵

I Norge var myrmalmen det lille vi hadde av råstoff like til bergmalmen overtok på 1500 – 1600 tallet. Situasjonen var en helt annen i Sve- rige og Finland. Der var det storstilt drift på sjømal m til innpå 1900-tallet. Sjømalmen i Oda- len utgjør således et interessant unntak i vår flik av verden. Malmen ble tatt opp vinterstid og kjørt til Odalen jernverk, hvor den ble blandet med bergmalm og brukt til ovnsstøping. Det ble sagt at ovnene var av sær



*Figur 3.2 Sjømal m fra Seljord.
Foto ©Tore Haug-Warberg (2015)*

sgod kvalitet. Forekomsten i Storsjøen i Odalen er sjeldent stor i norsk målestokk. Faktisk så stor at den tyske okkupasjonsmakten under krigen vurderte industriell utnyttelse. Totalt utgjør den 10 – 11 km² eller ca. 500 000 tonn malm i henhold til beregninger gjort av professor Vogt i 1915. Mesteparten av malmen fins på grunt vann dvs. 1 – 4 m dybde og er derfor lett tilgjengelig. Sjømal m forekommer andre steder i landet også, men kun i mindre mengder.

Pigmenter

Moderne valseverk taper 35 – 40 kg glødeskall pr. tonn varmvalset stål. Normalt ansees dette som avfall og har negativ bruksverdi og deponeres. Glødeskallet er en blanding av Fe, FeO, Fe₃O₄ og Fe₂O₃. Legodi og de Waal (2007) beskriver en metode for framstilling av pigmenter fra glødeskall som gjør at det kan være lønnsomt å utnytte avfallet. Dette gjelder pigmenter med kornstørrelser på mindre enn 10 µm. Artikkelen omhandler syntese av følgende pigmenter:

- Svart magnetitt (Fe₃O₄)
- Rød hematitt (Fe₂O₃)
- Brun maghemitt (Fe₂O₃)
- Gul gøthitt (FeOOH)

Framstilling av oksider av 2-verdig jern:

1. Løs 60 g glødeskall i 300 ml varm H₂SO₄
2. Oppvarming og inndamping gir et mørkt produkt med mudret utseende

5. En kortfattet beskrivelse av sjømalmen i Nord-Odal basert på en artikkel av I. Tronbøl og K. Underthun, Fortuna (2014)

3. Løs 10 g av stoffet i 120 ml vann
4. Tilsett 130 ml 25% vekt NH_4OH -løsning
5. La løsningen modne i 20 timer før filtrering
6. Det svarte pulveret er magnetitt
7. Oppvarming til 200°C i 3 timer gir brun maghemitt

Framstilling av oksider av 2-verdig jern:

1. Løs 30 g glødeskall i 300 ml varm H_2SO_4
2. Oppvarming, inndamping og kontakt med luft i 5 dager gir et gul-hvitt, fint pulver
3. Løs 20 g av stoffet i 500 ml vann.
4. Tilsett 100 ml 1M NaHCO_3 -løsning
5. Varm opp til 100°C og hold denne temperaturen i 1 time før filtrering
6. Det gule pulveret er gøthitt
7. Kalsinering til $600 - 900^\circ\text{C}$ gir hematitt i fargene: orange-brun, brun-rød, rød, purpur og grå
8. La oss så se hvordan vi kan lage pigmenter og maling av malmen som ble framstilt ved hjelp av elektrolyse.

3.1.2 Utstyr

Til dette forsøket trengs:

- Tørket malm f.eks. fra elektrolyse forsøket
- Bunsenbrenner
- Spiseskje
- Linolje
- Morter

3.1.3 Framstilling

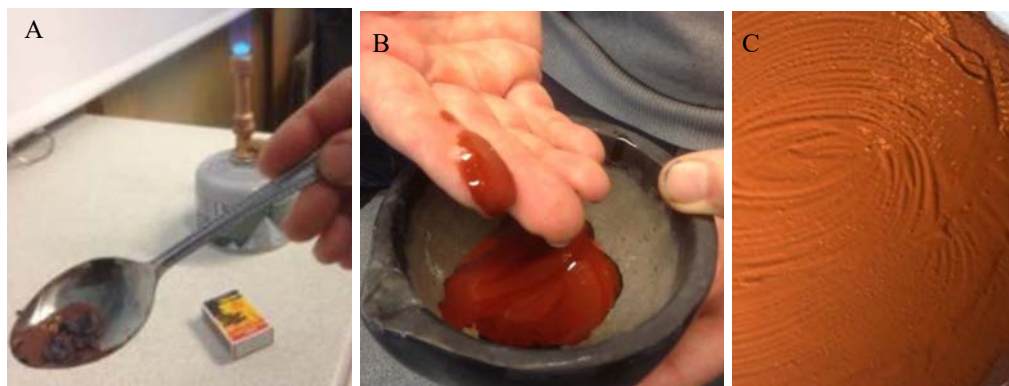
1. Ta litt av malmen i en spiseskje.
2. Hold skjeen over flammen ca. 5 min. (figur 3.3).
3. Ta en magnet og undersøk om det røstede pulveret er magnetisk.
4. Overfør malmen til en morter og bland i litt linolje (figur 3.4 B).
5. Gni malingen utover på et hvitt ark og la den tørke (figur 3.4 C).



Figur 3.3 Skjeen holdes over flammen



Bildene under (figur 3.4) viser den røstede “malmen” (A) som tilsatt linolje gir en dyp rød maling som kan strykes på et papir. Etter en stund tørker det og fungerer som maling.



Figur 3.4 A) "Malmen" etter oppvarming B) Malm blandet med linolje C) Maling

4 Fra malm til jern

4.1 Myrjernets teknologihistorie

Vi skal i det følgende gi en kortfattet oversikt over teknologihistorien fra tre ulike steder, i Norge, i Europa og i Afrika.

4.1.1 Jernframstilling i Norge

Denne sammenfatningen av myrjernets teknologihistorie er blant annet basert på Tore Haug-Warbergs kunnskap om emnet med støtte i artiklene til L. F. Stenvik, *Fra myrmalm til jern—teknologi med økonomisk overskudd* (1996) og Arne Espelund, *Jernhistorien i Stjørdalen* (2011).

Jernvinna, dvs. det fysiske arbeidet, eller *onna*, som var forbundet med foredlingen av myrjern i Norge, kan deles i 3 perioder:

1. Romertid (år 200 f.Kr. til år 600 e.Kr.)
2. Vikingtid (år 700 – 1300)
3. Nyere tid (år 1500 – 1800)

Romertiden (år 200 f.Kr. til år 600 e.Kr.)

I romertiden var det stordrift med 3–5 parallelle ovner. Teknologien(e) er særlig kjent fra Hardangervidda, Valdres og Nord-Trøndelag. Ovnen hadde slagprop som med tiden ble fylt opp av slagg. Man må ha fyrt med ved for det er ingen kullgroper i nærheten. Jern av god kvalitet i lupper på 15–20 kg var ikke uvanlig. Driften etterlot titalls tonn med slagg i store blokker. Opptil flere hundre kilo i en blokk. Anleggene i Stjørdal og Meråker er spesielt godt undersøkt av Stenvik og Espelund.



Figur 4.1 Slagg fra romertiden funnet i Smådøl i Numedal. Foto ©THW (2015)

Vikingtiden (år 700 – 1300)



Figur 4.2 Slagg fra vikingtiden funnet i Ånegga i Rennebu. Foto ©THW (2015).

Fra denne tidsperioden finner vi mindre gårds- eller seterlegg over hele øst- og midt-Norge, med unntak av Nord-Trøndelag, hvor det nå er stopp i produksjonen.



Siden vi i nærheten av disse anleggene finner groper for kullbrenning, kan vi slutte at ovnene var fyrt med trekull. Ovnene hadde dessuten sideveis slaggtapping som i prinsippet tillater kontinuerlig drift av ovnen. Tusenvis av slagghauger er funnet med tett tapeslagg med ruglet overflate. Jernet fra disse disk ovnene ble brukt til å lage bl.a. lange, skjeformede *jernteiner*, også kalt *jernbarrer*, og som var vanlig handelsvare på Østlandet. I Sverige var det et liknende produkt kalt *Osmunder*.

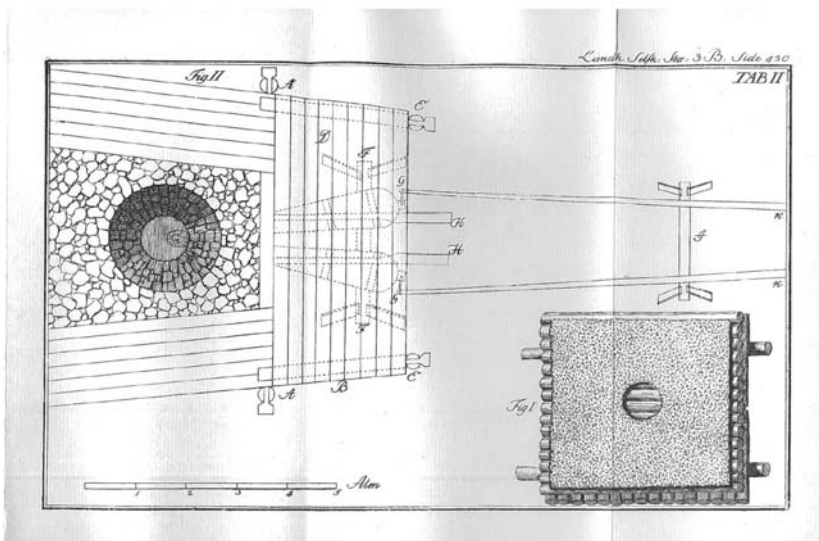
Nyere tid (1500 – 1800)

Fra denne perioden finner vi permanente gårdsanlegg og en kan stille spørsmål ved om de er inspirert av den svenske “Osmund”-ovnen. Slikke anlegg er særlig kjent fra nord-Østerdalen og er godt beskrevet av lensmann Ole Evenstad i 1790.

Men på denne tiden var det også stor masovndrift lengre sør i landet. Blesterjernet må derfor ha fylt et annet behov enn det industrielle jernet. Først og fremst kostet det kun arbeid og ikke penger, dette var jo lenge før pengehusholdning ble vanlig. Dernest må kvaliteten ha vært ansett som tilfredsstillende, eller kanskje til og med bedre til spesielle formål.



Figur 4.3 Jernbarrer funnet i Fiskum i Øvre Eiker. © Oldsaksamlingen



Figur 4.4 Tegning av “bondeovn” sett ovenfra. Ref. O. Evenstad (1790)

Kommentar

De to eldste teknikkene er uten skriftlige kilder. Skiftet mellom dem kom samtidig med den justinianske pesten (541 – 542, etc.) og svartedauen (1347 – 1351, etc.). Det er få konkrete spor etter omsmiing i alle tre periodene.

En trengte dessuten mye malm for å få noen kilo jern til redskaper. Det skulle hele 19 kg blesterjern til for å gi 3,6 kg jern til redskap i følge en dansk rapport om emnet. Slagghaugen utenfor smia burde derfor vært like stor som ved ovnen!

Det er få konkrete spor etter handelsruter. En populær teori er at Romerriket krevde store mengder jern til krigføring og at Norge ble betraktet som utposten av imperiet. Sikkert er det at jernframstillingen her til lands i romertiden var langt større enn det lokale forbruket av jern, men det var uansett ikke snakke om mange tonnene på landsbasis sett i forhold til produksjonen i Sverige.

4.1.2 Jernframstilling i Afrika

Fra Thilo Rehren og Michael Charlton (2007) hører vi at slagge er det beste kildematerialet for arkeologiske studier av gammel jernkultur. Slaggen er mekanisk robust og kjemisk inert. Dessuten finner vi forekomstene i landlige omgivelser slik at de ikke er dekket av utbyggingen av byene. Slaggen har dessuten lav annenhånds bruksverdi slik at haugene er blitt liggende.

Vi ser at blestring var den universelle teknologien for fremstilling av jern i hele den gamle verden. I mer enn 2000 år og på 2 kontinenter var lavkarbon jern og fayalittslagge de dominerende produktene.

Naturvitenskap eller etnologi

Etter hvert ser en at teknologien følger to ulike retninger. I Europa finner vi den naturvitenskapelige retningen som er opptatt av målinger av malm-, slagge- og jernkvaliteter og herav et estimert utbytte eller virkningsgrad. I Afrika var utviklingen mer etnologisk hvor teknologien i større grad ble styrt av det kulturelle samspillet mellom blestermennene, produktene deres og samfunnet omkring.

Den etno-historiske forskningen viser et utall av ulike, praktiske tilnærminger, og at den sosiale statusen til jernblesteren kan ha variert deretter. Dette gjelder ikke nødvendigvis bare Afrika, men her var blesterteknikkene i bruk lenger der enn i Eurasia.

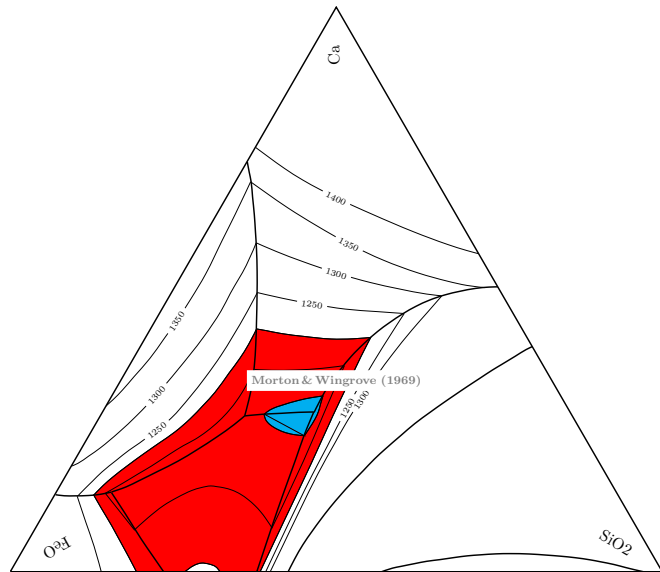
Den manglende kommunikasjonen mellom de to hoved-retningene innen forskning er påfallende. Etnologi og teknologi kan ikke sees som to adskilte fagfelt. Variasjonene i drifts-betingelser og ovnsdesign er for hyppige til at de kan skyldes uavhengige oppfinnelser. Teknologien må ha utviklet seg i stor skala, og over store avstander, som følge av diffusjon og evolusjon. I tørre strøk med lite brensel og rik malm måtte de f.eks. utvikle en annen teknikk enn i et samfunn med nok brensel og mager malm. Tilsvarende avspeiler ovner med belg kontra naturlig trekk tilgjengeligheten av brensel, malmens beskaffenhet, manuell arbeidskraft og lokal sedvane.

Slaggenes sammensetning

Men, burde ikke slaggenes sammensetning også vise en betydelig tid – rom variasjon? Kanskje, men slagget er omtrent det samme over hele fjøla. Fra naturens side tar ikke slagget mye variasjon i sammensetning før det størkner. Det er dessuten lett å stirre seg blind på gjengse oppfatninger. Tappeslagge inneholder f.eks. kun lav-viskøse forbindelser. Slagge med høyere smeltepunkt fulgte enten med luppen til smia eller den havnet sammen med ovnsrestene. Slike forhold forskyver det kjemiske oversiktsbildet. Følgen kan ha vært at man stort sett har analysert tappeslagge med omtrent konstant sammensetning.



I dag oppfatter vi blesterbruket som primitivt og med lav resursutnyttelse fordi godt og vel halvparten av jernet blir tilbake i slagget. For datidens mennesker må andre faktorer hatt større betydning, så som markedsverdi, politisk dominans, tilgjengelighet av råvarer og kost/nytte forhold. Man skal heller ikke glemme at de faktisk ikke hadde noe valg. Ovnen drives nemlig av $C + \frac{1}{2}O_2 = CO$ som gir maks. $1250^\circ C$. Det kreves et helt spesielt råstoff for at ren CO skal kunne gi brukbart jern ved $1000 - 1200^\circ C$. Ren myrmalm (oker) eller bergmalm (hematitt, magnetitt) lar seg således ikke "smelte" i en blesterovn, til det trengs det en slaggdanner.



Figur 4.5 Fasediagram for $FeO - SiO_2 - CaAl_2Si_2O_8$.
©THW (2015)

Fasediagrammet (figur 4.5) har én frihetsgrad langs $FeO - CaAl_2Si_2O_8$. Denne frihetsgraden utgjør en "human decision factor". Dersom malmen har passe mye forurensninger har man to valg:

1. Velge å pine ut så mye jern som mulig, som lett gir overkarburisert jern (stål) og seigt slag
2. Være raus med malmen, slik som elektrolyttisk malm i dette dokumentet, og heller prioritere smibart jern og slag med god flyt⁶

Dersom malmen er svært ren, har man i grunnen kun ett valg:

1. Tilsette en slaggdanner (sand eller blestform (luftinntak) av leire som smeltes kontrollert ned) for i det hele tatt å få flytende slag (spekulativt)

Dersom malmen er for mager må prosessen deles i to trinn:

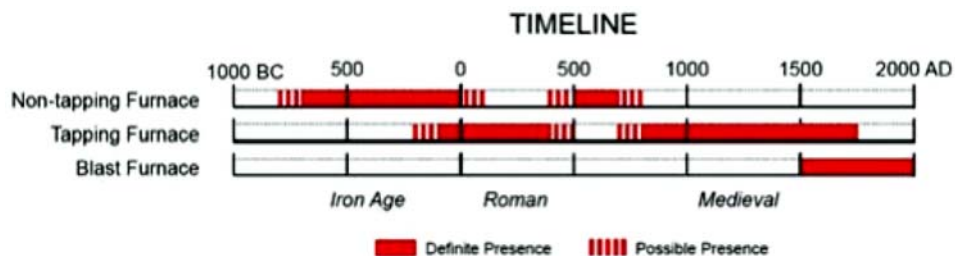
1. Først oppkonsentrere jernet i en flytende slaggfase (som ikke lar seg tappe) for deretter å ...
2. ... skille ut det anrikete slagget og blestre det på nytt på samme vis som malm av god kvalitet

4.1.3 Jernframstilling i Europa

Sarah Paynter skriver om før-industriell jernproduksjon i Europa (Paynter, 2011):

6. Ren malm har smeltepunkt på ca. $1400 - 1500^\circ C$, da som Fe_3O_4 eller FeO for å danne slag må det tilsettes kvartssand (SiO_2) eller feltspat ($CaAl_2Si_2C_8$).

England har i likhet med Norge en gammel og en nyere jernalder. Ovnene følger også det samme mønsteret i England som i Norge. De har imidlertid brukt trekull i begge periodene, ikke ved som i Nord-Trøndelag.



Figur 4.6 Tidslinje for de forskjellige jernaldrene i England. © Paynter (2009)

Omfanget av jernblestringen har vært mye større i England enn i Norge. De største slagghaugene fra romertiden er estimert til flere tusen tonn, mot noen titalls tonn her til lands. I England er det også flere eksempler på at slagge har vært brukt til bygging av veier, helt fra romertiden og frem mot 1800-tallet. Slagge fra romertiden har også vært brukt som råstoff i masovner. Dette forteller oss at England har hatt bedre ressurstilgang og at landet har vært nærmere begivenhetenes sentrum enn lille Norge. Noe vi egentlig visste fra før.

Oppsummering

I nærmere 2000 år var jernblestring et internasjonalt foretagende, fra det kalde nord i Trøndelag, over hele Europa, til det nære østen og langt sør til varme strøk i Afrika. Ovnene var av ulike størrelser og design, men de sørget alle for direktereduksjon av jern ved en temperatur som ligger langt under smeltepunktet til jern. Vi vet at dette i prinsippet er mulig, men vi vet ikke eksakt hvordan det kan gjøres. Vi må innse at dette er en tapt teknologi som så mye annet. Kanskje de hadde bedre råstoff enn det vi har i dag, kanskje de simpelthen prøvde mye hardere, eller kanskje vi lar oss blende av vår egen rasjonelle forståelse?

4.2 Blesterovnen en modell

Eksperimentell blestring har vunnet betraktelig anseelse de siste 10 – 15 årene. Fra å være noe som man i beste fall støtte på i et kryssord, er det i dag viet stor interesse. Mest internasjonalt, men også nasjonalt.



Ethvert dyreskue eller martnan med respekt for seg selv har en “mesterblester” i utkanten av arenaen. Der blir gamle kara som guttunger igjen. Det er ikke dermed sagt at blestring av jern er noe man gjør i løpet av en liten formiddag. Det er en komplisert kjemisk prosess som i tillegg krever god kontroll over trekkforholdene i en notorisk dårlig kontrollert ovn. Og det er vel ingen i dag som med hånden på hjertet kan påstå at de gjør om igjen det de gjorde for 2000 år siden, men det er fortsatt lov å prøve seg.

Disse konstruksjonsparametrene er hentet fra Sauder og Williams (2002):

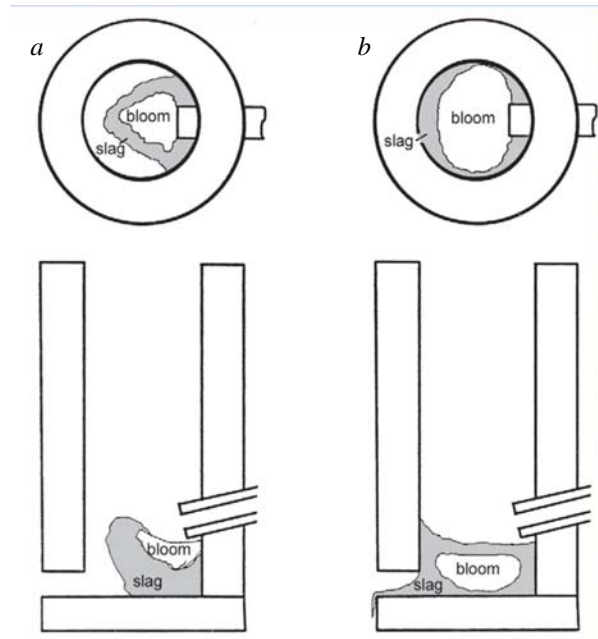
- 1200 – 1600 dm³ pr. min. lufttilførsel (tilsvarende 40 – 50 kW i brennsonen)
- 58% jern i råstoffet (gøthitt)
- 30 – 80 mm trekullbiter
- 120 – 1600 mm sjakthøyde (dekker behovene fra esse til blesterovn)
- 350mm innvendig diameter (sylindrisk sjakt)
- 50mm blestform (vannkjølt av praktiske årsaker)
- 1450 – 1650°C i brennsonen (oksidierende forhold)
- 40,5 kg malm og 91 kg kull ga 23,5 kg luppe (60% utbytte)

Luftmengden er svært kritisk. En halvvering av luften i forhold til design gir overkarburisert jern og grønt seigt slag (glass). Men, en økning av mengden luft gir også overkarburisert jern. I tillegg kan det observeres “stjernesudd” dvs. jern som brenner opp (reoksidere) (figur 4.7).

Under er beskrevet en modell av en gjenskapt blesterovn gravd inn i bakken og steinsatt.

Bildene under er tatt av Tore Haug-Warberg og viser hvordan en modell av en blesterovn kan bygges opp. Modellen er fri fantasi, men inspirert av Trøndelagsovnene fra Romertiden. Den ble bygget av forfatteren i forbindelse med Middelalderuka i Rollag 2015.

En annen forsøksovn er vist lengre bak i dokumentet og er bygget av moderne materialer. Formålet var å produsere flytende slag for om mulig å lære noe om kjemien inne i ovnen.



Figur 4.7 Effekten av liten luftgang (a) og passe luftgang (b).



Figur 4.8 Fundament av romertidsovn (Foto © Tore Haug-Warberg, 2015)



Figur 4.9 Plating for romertidsovn (Foto © Tore Haug-Warberg, 2015)



Figur 4.10 Steinsatt romertidsovn under oppfyring (Foto ©Tore Haug-Warberg, 2015)



*Figur 4.11 Blestergropa i romertidsovn etter fyring til $> 1000^{\circ}\text{C}$
(Foto ©Tore Haug-Warberg, 2015)*



Figur 4.12 Blestergropa sett ovenfra (Foto © Tore Haug-Warberg, 2015)



Figur 4.13 Eksperimenttelt design i hagen (Foto © Tore Haug-Warberg, 2013)



Figur 4.14 Tapping av tyntflytende slagg (Foto © Tore Haug-Warberg, 2013)

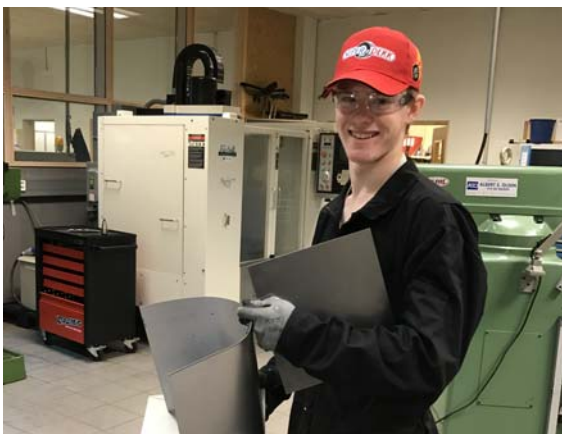


*Figur 4.15 Jernluppe (uten sammenheng med de andre bildene).
(Foto © Tore Haug-Warberg, 2014)*

4.3 Blesterovnen – en modell for bruk i skolen

4.3.1 Bygging av blesterovn – et skoleprosjekt

Vinteren 2016–17 ble det laget en fungerende modell av en blesterovn ved TIP ved Byåsen videregående. Det var Jørgen Dahle (bildet) som laget ovnen under veiledning av lærerne Stig Mårstad og Roger Rosmo etter en ide av Tore Haug-Warberg.



Figur 4.16 Besterovnen ble bygget av Jørgen Dahle
Foto: Stig Mårstad

4.3.2 Uttesting av blesterovnen

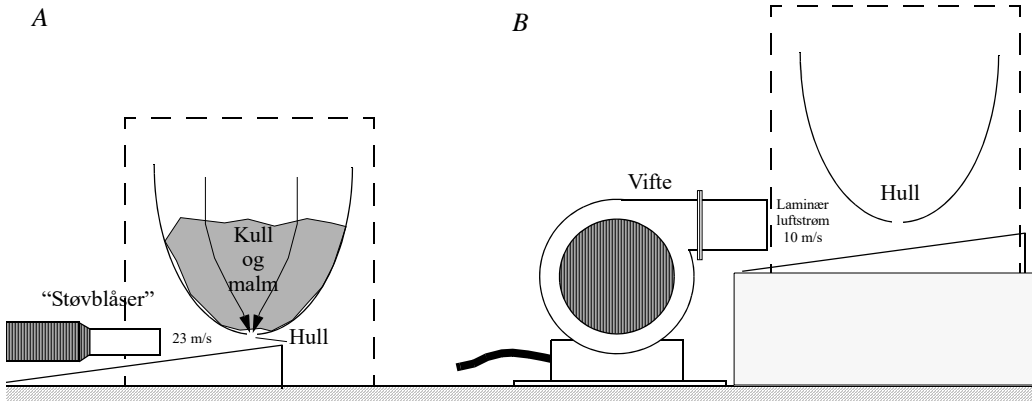
Dette er en kreativ versjon av en gammel metode brukt gjennom flere 1000 år. Poenget med ovnen var å gi den en kunstig trekk som tilfører forbrenningen oksygen. Men, istedet for at trekken går fra bunnen og opp gjennom lagene med trekull og malm, ønsker man å lage et undertrykk under ovnen som drar luft ovenfra og ned. Tanken er at undertrykket skal skapes ved å blåse luft under ovnen gjennom en variabel Venturieffekt⁷ ved hjelp av en støvsuger som er koblet omvendt vei. Ved å plassere hullene i bunnen av ovnen i overkant av spalten, håpet man å oppnå suget som drar lufta ned gjennom ovnen.



Figur 4.17 Liten blesterovn (Byåsen vgs)
Foto: Hilde Ervik



En slik løsning ville gjøre det enklere å jobbe på oversiden av ovnen, samtidig som man slapp å trekke gjør inn i et avsug. som vist på figur.



Figur 4.18 Forsøk ved bruk av støvblåser (A) og lab. vifte (B) med laminær luftstrøm.

Forsøk utført på ovnen 21. og 22. feb. 2017, viste at en relativt bred spalt og bruk av lab. vifte med laminær strøm fungerte rimelig bra. Oven ble likevel ikke brukt for framstilling av jern da effekten var for liten. Man avventer ombygging for å oppnå bedre resultat.



Figur 4.19 Opptenning med bruk av "støvblåser", en gassflamme brukes for å påvise trekken i ovnen (t.v.). Opptenning ved bruk av lab. vifte (t.h.). Foto: Hilde Ervik.

7. "Venturieffekt er en måte å skape undertrykk i et rør med strømning av gass eller væske. Man utnytter Bernoulli-prinsippet som sier at trykket reduseres når farten øker. Ved å lage en forsnevring som gassen eller væsken må passere vil farten øke og trykket blir lavere." <https://no.wikipedia.org/wiki/Venturieffekt>

4.3.3 Bruk av manuell metode

Et alternativ for en blesteroavn er å bruke en digel med kul og oppvarming ved hjelp av gassbluss og tilføring av luft gjennom et blåserør. Normalt vil man måtte opp i 1000 – 1200°C og holde denne temperaturen i ca. en time.



Figur 4.20 Manuell framstilling av jern fra malm. Foto: Hilde Ervik

Etter lengre oppvarming og blåsing, fikk man en liten klump med jernholdig materiale. Til dette forsøket brukte man malm framstilt ved elektrolyse. Dette ble påvist ved observasjon, bruk av magnet og kjemiske metoder.



Figur 4.21 Resultatet etter manuell framstilling av framstilling av jern fra malm. Oppvarming (t.v.), en klump med finfordelt jern i magnetitt? (midten), påvist magnetitt (t.h.). Foto: Hilde Ervik

En første indikasjon på at prosessen har vært vellykket er at den vesle klumpen man får er magnetisk, dvs. at det er framstilt magnetitt. Man kan også studere resultatet i stereolupe.

Figur 4.22 Magnetitt sett gjennom en stereolupe.
Foto: Hilde Ervik

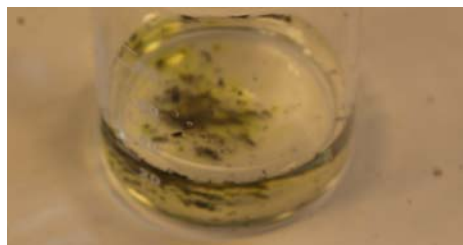




En annen måte å påvise at vi har framstilt jern er ved legge klumpen i saltsyre (HCl). Dersom det er framstilt jern, vil det dannes gass som bobler opp samtidig som saltsyren farges grønn.

Forsøkene viste at vi fikk den forventede reaksjonen (se figur 4.23).

Støkiometrien (i forsøket) tilsier at det dannes mest FeO.

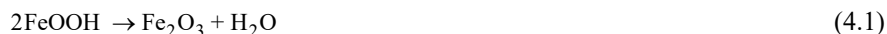


Figur 4.23 “Jernet” sluppet i saltsyre

4.3.4 Reaksjonsligningene

Den overordnede kjemien for omsetningen av malm til slagg og deretter til metall er godt kjent – i alle fall bruttolikningene for henholdsvis røsting, forbrenning og reduksjon:

Røsting:



Boudouard:



Forreduksjon:



De siste ligningene viser at Fe_2O_3 , Fe_3O_4 og FeO inngår i en “runddans”, som er avhengig av det lokale oksygenpotensialet i brennsonen.

Reduksjon:



De detaljerte reaksjonsmekanismene er uklare.

4.3.5 Påvisning av oksider

Som vi ser av ligningene så er det rimelig å anta at det både dannes Fe_2O_3 , Fe_3O_4 og FeO. Det er rimelig å anta at det også dannes andre jernoksider slik som det framgår av reaksjons-ligningene.

Vi kan bruke *rødt blodlutsalt* ($K_3Fe(CN)_6$) for å påvise Fe^{2+} . For å påvise Fe^{3+} bruker vi *gult blodlutsalt* ($K_4Fe(CN)_6$). Begge kombinasjonene vil gi en blåfarge kalt *Turnbuls blått*, eller *berlinerblått*.



Figur 4.24 t.v påvisning av Fe^{2+} med rødt blodlutsalt, t.h. påvisning av Fe^{3+} med gult blodlutsalt.

4.4 Termittreaksjon

Det er en eksoterm reaksjon mellom to metaller, hvor det ene er et metalloksid. I vårt tilfelle er metalloksidet jernoksid (rust) som blandes med aluminium i pulverform. Aluminium har relativt lavt smeltepunkt ($660^{\circ}C$), men høyt kokepunkt ($2467^{\circ}C$).

For å starte reaksjonen må blandingen varmes opp, dette kan gjøres på forskjellig måte. Når reaksjonen først er startet så vil det skje en enorm varmeutvikling med temperaturer helt opp i $4500^{\circ}C$. Resultatet av reaksjonen mellom jernoksid og aluminium er rent jern og aluminiumoksid.

Figur 4.25 A) viser blandingen av jernoksid (rust) og aluminiumspulver før reaksjonen er skjedd. På figur 4.25 er reaksjonen i full gang..



Figur 4.25 A) Blanding av jernoksid, B Termittreaksjon⁸

8. Bildene er hentet fra Wikipedia <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermite>



Siden temperaturen blir så høy og resultatet av reaksjonen er rent jern, er den bl.a. benyttet ved skjøting eller sveising av jernbaneskinner.

Man legger en form omkring skjøten som fylles med den nevnte blandingen. Så tenner man på blandingen. Den sterke varmen sammen med jernet som dannes i reaksjonen, vil fylle mellomrommet mellom skinnene samtidig som de to skinnene blir sveiset sammen av den sterke varmen. Figur 4.26 viser formen som legges rundt skjøten, og at reaksjonen er i gang⁹.

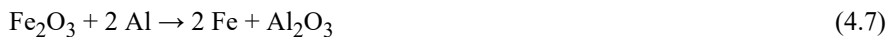
En lang rekke metaller kan brukes i denne reaksjonen, som f.eks. magnesium, titan, sink, silisium og bor, men aluminium er det vanligste siden det er et billig metall med høyt kokepunkt.

I tillegg til sveising av jernbaneskinner så brukes termittreaksjonen ved foredling av metaller, f.eks. ved at jernoksid omdannes til rent jern, destruering av krigsmateriell eller i våpen ment for destruksjon av installasjoner e.l., men også til antenning av fyrverkeri.



Figur 4.26 Termittreaksjon brukt for sveising av jernbaneskinner

Reaksjonsligningen



9. Bildene er hentet fra Wikipedia <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermite>

Under reaksjonen omdannes aluminium og jernoksid til rent jern og aluminiumoksid. Grunnen til at reaksjonen går denne veien er at aluminium danner mer stabile bindinger til oksygen enn hva jern gjør. Temperaturen kan komme opp i 2000°C.



Figur 4.27 Elever ved Byåsen vgs tester termittreaksjon



5 Referanser

(Espelund, 2013) A. Espelund, *The evidence and the secrets of ancient bloomery ironmaking in Norway – with an extension to the beginning of the industrial period*, Arketype forlag, Trondheim

(Legodi, Waal, 2007) M.A. Legodi og D. de Waal, *The preparation of magnetite, goethite, hematite and maghemite of pigment quality from mill scale iron waste*, Dyes and Pigments, 74(1) (2007)

(Paynter, 2011) S. Paynter, *Pre-industrial Ironworks*, English Heritage: Introductions to Heritage Assets (2011)

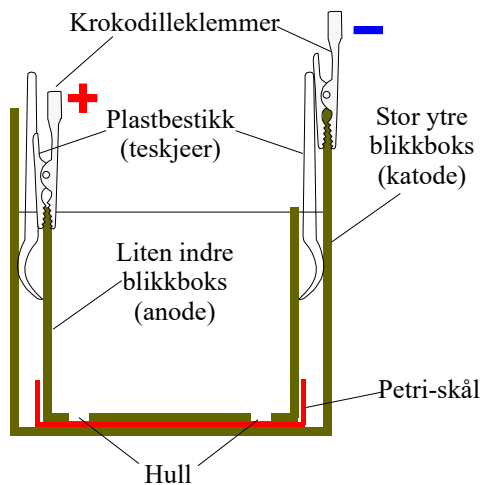
(Rehren, Charlton, 2007) T. Rehren, M. Charlton et al., *Decisions set in slag: the human factor in African iron smelting*, (2007)

(Sauder, Williams, 2002) L. Sauder and S. Williams, *A practical treatise on the smelting and smithing of bloomery iron*, Historical Metallurgy

(Åsheim, Rueslåtten, 2010) A. Åsheim, H. Rueslåtten, *Rindebakken okerforekomst : Veum i Fyresdal, Telemark*, Kjemi. – Årg. 70, nr. 2 (2010), s. 20–24 : ill.

Vedlegg A Alternativt oppsett

Som et forenklet alternativ til oppsettet vist i avsnitt 2.3.3 hvor de to boksene skal plasseres inni hverandre uten å berøre hverandre (kortslutte), kan benytte en Petri-skål¹⁰ og tre plast-skjeer som vist på figuren under. Størrelsen på skjeene velges i henhold til forskjellen i størrelse mellom de to boksene.



Husk å stikk hull i den innerste boksen med en syl slik at vannet fyller boksen. Dette er strengt tatt ikke nødvendig dersom vannstanden står over den innerste boksen.

10. Petri-skålen er lav rund skål gjerne i plast eller glass med lokk, oppfunnet av Julius Richard Petri i 1877 for dyrking av bakterier og sopp.

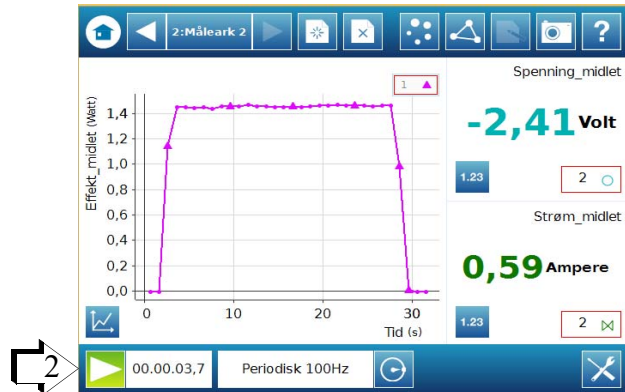


Vedlegg B Bruk av Spark datalogger




Registrering av strøm som funksjon av tiden

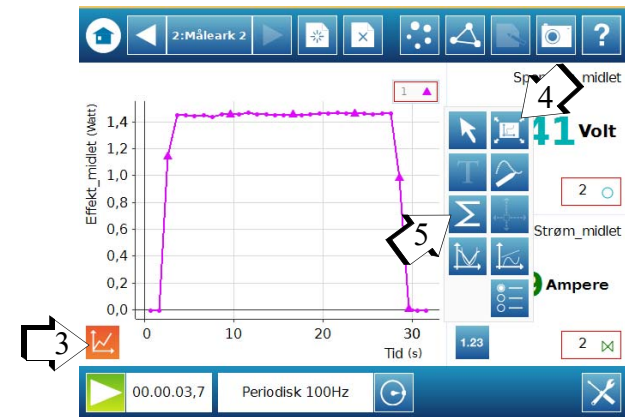
1. Velg måling - **Strømmåling**
2. Målingen startes og stoppes ved å trykke på pila i nederste venstre hjørne.

Startes:  Stoppes: 




Skaler og beregn areal (As)

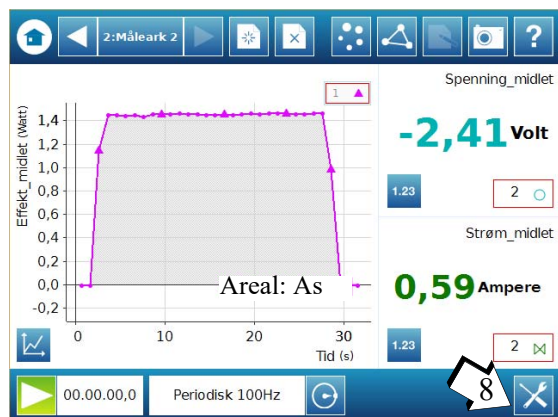
3. Trykk på symbolet .
4. Trykk  for å skalere opp grafen.
5. Trykk  - Velg deretter AREAL
6. Trykk OK
7. Les av areal (figur under til høyre)



Fjern gamle målinger

8. Trykk på symbolet .
9. Velg STYRE DATA
10. Velg ADMINISTRERE KJØRINGER
11. Velg SLETT ALLE KJØRINGER
12. Trykk Ja
13. Trykk OK og OK

Bestem strømmengde [As]





Arne Espelund

Prosjektet startet i 2014 ved at det kom en henvendelse fra professor emeritus Arne Espelund, om ikke Skolelaboratoriet kunne tenke seg å bidra til at kunnskapen om kobber og jernutvinning ble gjort tilgjengelig for elever i skolen.

Dette heftet gir en oversikt over hva som er gjort ved Skolelaboratoriet i et samarbeid med Arne Espelund, Tore Haug-Warberg ved NTNU og ansatte ved Skolelaboratoriet. Hilde Ervik har vært den som har koordinert arbeidet og tilrettelagt stoffet for bruk i faget Teknologi og Forskningslære i videregående skole.

Tore Haug-Warberg
Førsteamanuensis ved Institutt for kjemisk prosess-
steknologi
E-post: tore.haug-warberg@ntnu.no

Hilde Ervik
Lektor ved Byåsen vgs og
Universitetslektor ved Skolelaboratoriet
E-post: hilde.ervik@ntnu.no

Nils Kr. Rossing
Førstelektor ved Skolelaboratoriet
E-post: nils.rossing@ntnu.no
Prosjektleder ved Vitensenteret
E-post: nkr@vitensenteret.com