

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE. Nr. 104

# ELEKTRISK METALSMELTNING

FORSØK OG UNDERSØKELSER UTFØRT VED  
MARINENS TORPEDO- OG MINEFABRIK  
I SAMARBEIDE MED STATENS  
RAASTOFKOMITE

AV

**J. BULL**

MED 6 TEKSTFIGURER OG ENGLISH SUMMARY

STATENS RAASTOFKOMITE  
PUBLIKATION Nr. 4



**KRISTIANIA 1922**

I KOMMISSION HOS H. ASCHEHOUG & CO.

## INDHOLD.

	Side
1. Bueovner .....	6
2. Motstandsovner .....	6
3. Induktionsovner .....	8
4. Direkte ophetning av digel- eller ovnsrum .....	8
Driftsdata, energiforbruk m. v. ....	17
Energiens kostende pr. kg. smeltet metal .....	19
Avbranden .....	20
Metallets kvalitet .....	21
Digelforbruket .....	22
Ildfast utmuring .....	24
Arbeidsløn .....	24
Temperaturen .....	24
Sammenligning mellem elektrisk ovn og koksfyret ovn .....	25
Slutning .....	26
Summary .....	27

---

I 1917 sattes der ved Marinens Torpedo- og Minefabrik igang undersøkelser med elektrisk metalsmelting, dels fordi der var vanskeligheter med brændselolje og digler, dels for om mulig at faa nedsat vrakprocenten.

Dette sidste spiller ved torpedofabrikationen en meget stor rolle paa grund av de store fordringer som stilles til støpegodsets kvalitet, og fordi en feil ofte ikke kan opdages før efter trykprøvning, det vil si efter at en større eller mindre del av maskineringen allerede er utført.

Fra høsten 1920 blev forsøkene i samarbeide med Raastofkomitéen git en mere almindelig karakter, idet der ogsaa tokes sigte paa forholdene inden landets metalstøperier.

Stort set foreligger der elektriske ovnskonstruktioner basert paa følgende hovedprincipper:

1. Elektriske buer.
2. Opvarmning av motstandslegemer uavhengig av diglen eller hærden.
3. Induktion i metalmassen.
4. Direkte ophetning av hærden eller diglen.

Desuten kan selvfølgelig disse principper anvendes i forbindelse med hinanden.

For nogenlunde at faa en oversigt over de forskjellige princippers brukelighet blev der konstruert prøveovner efter alle de nævnte principper, idet man tok sigte paa at finde den type som bedst vilde egne sig for et almindelig støperi og en størrelse fra ca. 50 til 200 kg. Desuten blev der indhentet opplysninger fra de fleste ovnsfabrikanter, hvis ovner hadde faat nogen synderlig praktisk anvendelse paa det ovennævnte omraade.

## 1. Bueovner.

Disse blev henlagt særlig fordi det viste sig at avbranden paa grund av den sterke lokale varme blev for stor.

Den svære temperatur i buen (3 a 4000°) bragte sinken til at fordampe, saa man endog paa den maate praktisk talt kunde omdanne messing til rent kobber.

Nu er det netop avbranden som for en væsentlig del er aarsak til daarlig metal fra ovnen, da den slagg og »skidt« som dannes ialt væsentlig bestaar av brændt metal (metaloksyder).

Videre forandres herunder legeringens sammensætning, da ikke alle bestanddeler brænder like meget bort, og da avbranden *varierer* mere jo større den er, alt eftersom ovnen passes, vil ikke denne forandring i legeringen engang bli den samme fra gang til gang.

Av andre mangler ved en bueovn kan nævnes, at den for saa *smaa* ovner som der her er tale om falder uforholdsmæssig dyr i anskaffelse, konstruktionen med de bevægelige elektroder blir komplicert, der trænges stadig betjeningsmandskap til regulering eller nok et komplicert og kostbart apparat til automatisk at utføre dette.

Selv med meget omhyggelig pas undgaar man vanskelig uten automatisk regulering at belastningen blir temmelig ujevn og støtvis, saa transformatorer og elektrisk utstyr maa overdimensioneres ganske kraftig, hvis man vil være sikret mot driftsforstyrrelser. I den seneste tid er mangelen ved den sterke lokale varme søkt avhjulpet ved bl. a. at la buen spille i et rum fylt med grafitkorn. Nogen særlig forbedring av bueovnsprincippet betyr dette neppe.

At gaa nærmere ind paa enkeltheter ansees unødvendig.

## 2. Motstandsovner.

Naar undtas platina kjendes intet metaltraad-materiale som utsat for luftens paavirkning i længere tid taaler den temperatur som kræves for en almindelig traadviklet metalstøperiovn.

Traadens temperatur maa bli betydelig høiere end det smeltede metals; ti i en saadan ovn maa varmen først gaa gjennem det ildfaste rør eller lignende som traaden vikles paa og som i



almindelighet danner selve ovnsrummet; dernæst maa dettes temperatur være høiere end metallets for at varmen skal gaa fra rummets vægger gjennem den egentlige digel og over til selve metallet.

Tungsmeltelige metaller som wolfram, tantal, molybden o. l., som vistnok har et tilstrækkelig høit smeltepunkt, maa indeluttes i en bestemt neutral atmosfære eller vakuum for ikke at oksyderes i hvitglødhete, og vites ikke at ha faat nogen nævneværdig *teknisk* anvendelse i støperier.

Til tekniske ovner har derimot motstande av silit eller grafitkorn eller blokker faat en viss utbredelse, de første væsentlig i Tyskland.

Ved Minevæsenet er prøvet begge deler.

*Silit*, som bestaar av siliciumkarbid bearbeidet paa en egen maate, har utvilsomt mange fordeler. Det er forholdsvis billig og besitter sammenlignet med metaltraader fremforalt den fordel at være selv bærende. Forarbeidet til staver, rør eller lignende kan disse hænges eller stilles op *indenfor* selve ovnsrummet, hvorved virkningsgraden bedres endel.

Materialet er dog temmelig sprødt og let utsat for at bli slaat av, kontaktsystemet er heller ikke ganske tilfredsstillende; men med en videre utvikling og forbedring vil silit sandsynligvis paa mange omraader faa indpas, særlig ved mindre ovner.

Til metalsmelteovner synes det endnu for tidlig at anvende det.

*Grafitkorn* anvendes i flere tekniske ovner, hvorav kanskje Bailys har faat størst praktisk betydning.

Princippet er prøvet ved Minevæsenet. Det blev forkastet væsentlig av følgende grunder:

1. Virkningsgraden var mindre tilfredsstillende.
2. Motstanden i kornene varierte *meget* sterkt med tryk, temperatur og kornstørrelse, særlig med trykket.
3. Der var adskillig kluds med kornenes og foringens fornyelse, idet en lokal overhetning av disse deler vanskelig kunde undgaes.

Systemet er antagelig ganske godt egnet for store ovner med kontinuerlig drift.

### 3. Induktionsovner.

Specielle induktionsovner for metal — almindelige induktionsovner for staal kan av visse grunder ikke brukes — er konstruert av Ajax-Wyatt, U. S. A., og disse gir efter rapporter fra flere hold meget gode resultater baade med hensyn til økonomi og kvalitet.

De er desuten meget bekvemme og greie at betjene. Men der er en hake ved dem som praktisk talt umuliggjør deres anvendelse i et almindelig støperi:

Ovnen maa arbeide absolut kontinuerlig nat og dag og kan ikke tømmes for mere end  $\frac{2}{3}$  a  $\frac{3}{4}$  av indholdet, hvorved ogsaa legeringens sammensætning kun i meget begrenset utstrækning kan varieres.

Ovnen har derfor sin plads i et stort metalvalseverk, som nat og dag aaret rundt støper en og samme slags boltlegering eller lignende.

Ogsaa en *høifrekvens-induktionsovn* er for endel aar siden konstruert av dr. Northrup.

Ved at anvende høifrekvens-vekselstrøm undgaaes jernkjernen, og man behøver ikke anordne chargen i en ring. Der induceres hvirvelstrømmer enten i en ledende digel eller i metalmassen selv.

For laboratoriumsovner vil sandsynligvis ovnen egne sig godt, og som saadan er den prøvet ved Minevæsenet, dog ikke med ubetinget held.

At indføre den i støperier paa det nuværende utviklingsstadium kan ikke anbefales; dertil er hele systemet med et svært batteri av kondensatorer, gnistbane, flere tusen volts spænding o.s.v. altfor komplicert og kostbart.

### 4. Direkte ophetning av digel- eller ovnsrum.

Naar man betænker at en almindelig grafitdigel leder elektricitet ganske godt, ligger det meget nær at sende strømmen direkte gjennom diglen (se fig. 2) og saaledes utvikle varmen saa nær metallet som mulig og samtidig saa litet som mulig ophete andre deler, som mufler, hvælv og lignende.

Vanskeligheten ligger i at isolere metalmassen fra diglen; ti ellers vil strømmen kun passere gjennom diglens vægger fra *a* til *b* og *c* til *d* (se skissen) og ellers gaa gjennom badet, eller med andre ord diglen kortsluttes gjennom metalbadet fra *b* til *c*. Den del som er over badet (*a—b*) vil da overlastes voldsomt og meget hurtig brænde op. Indtil metallet er smeltet, mens det altsaa ligger som blokker eller stykker i diglen, vil der dannes buer mellem diglen og metalstykkerne, hvor disse kommer nær hinanden, særlig øverst og nederst i diglen, og disse buer ødelægger raskt og sikkert diglen.

Endvidere maa diglen beskyttes mot oksydation der hvor den har over rødglødhete.

Man kunde sætte en anden digel ind i den opvarmede; men da gaar en stor del av fordelerne ved god økonomi, enkelthet o.s.v. bort, og begge digler er sterkt utsat for oksydation, den ene indvendig, den anden utvendig.

Spørsmålet er av den bekjendte digelfabrik Morgan Crucible Company, London, søkt løst paa den maate, at der under diglens fabrikation brændes ind et 3 a 4 mm. tykt ildfast materiale som danner tilstrækkelig elektrisk isolation uten at isolere nævneværdig for varmen.

Efter at ha undersøkt saken nærmere hos firmaer som hadde kjøpt Morgans ovner, blev en saadan som den mest lovende av alle eksisterende typer anskaffet til Torpedofabrikens metalstøperi, hvor den nu har været i drift ca. 8 maaneder.

Der er anskaffet en mindre ovn for en charge paa ca. 10 kg. metal, nærmest for prøvestøpninger, og to større for ca. 100 kg. til den daglige drift og specielle forsøk. I disse *kan* der smeltes optil 120 kg.

Morgan leverer foruten disse to størrelser en for 200 kg.

En nærmere beskrivelse av den 100 kg.s ovn skal gis nedenfor.

Fig. 1 viser ovnen i snit, fig. 2 viser ledningsskemaet for vekselstrøm og likestrøm, fig. 3 og 4 ovnens utseende naar ovnen kippes om en akse som omtrent gaar gjennom tappetuten, fig. 5 naar kippeaksen omtrent ligger i ovnens tyngdepunkt.

Ovnen bestaar av en *digel* (4) som oventil er git en fortykkelse, utenpaa hvilken er fastskrudd en sirkulær metal- eller



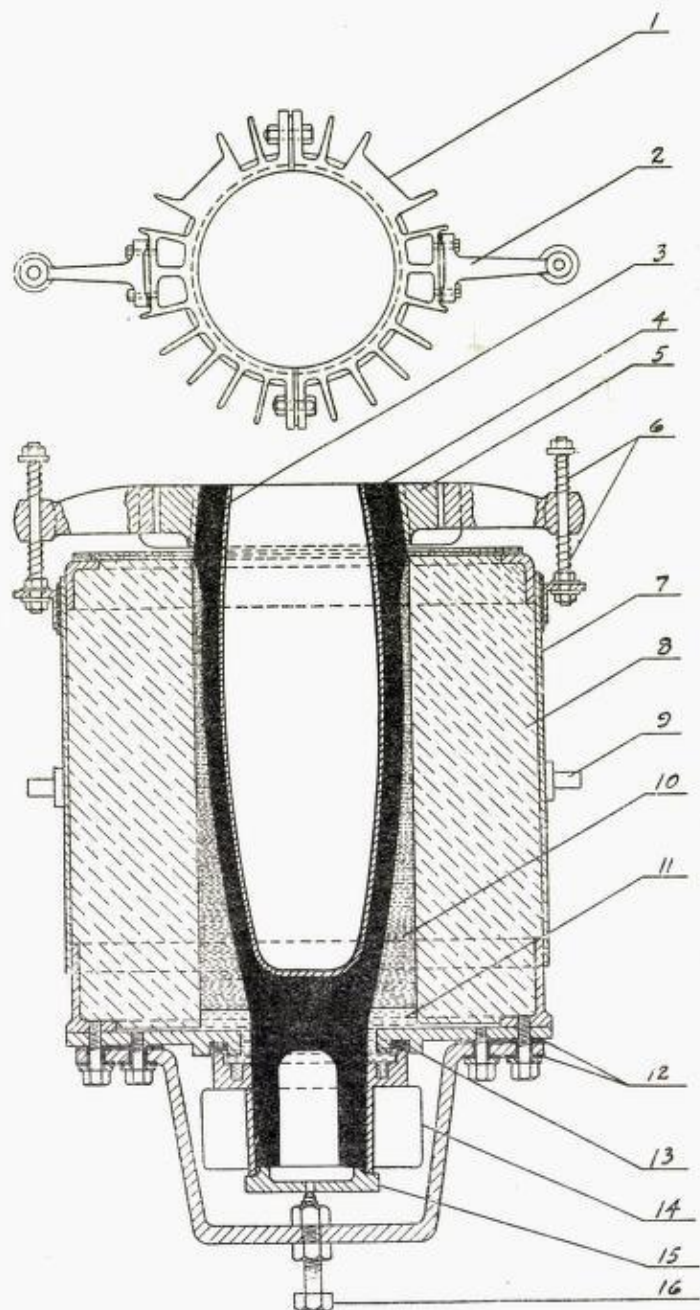


Fig. 1.



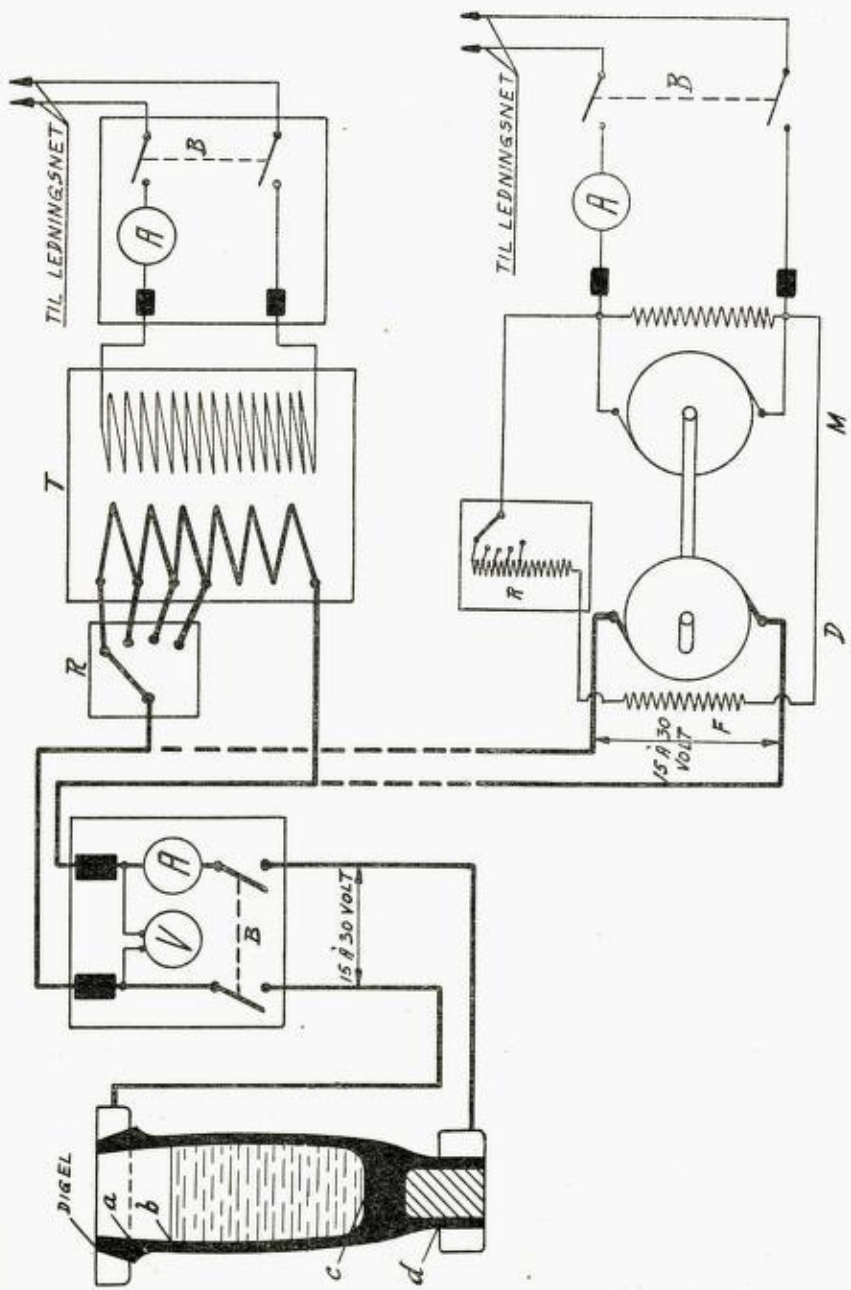


Fig. 2.

jernring (5), hvortil den ene ledning, en kobberskinne, er fæstet ved (1).

Ringen er forsynet med ribber for luftkøling og bæres oppe af to armer (2), som er isolert fra ringen.

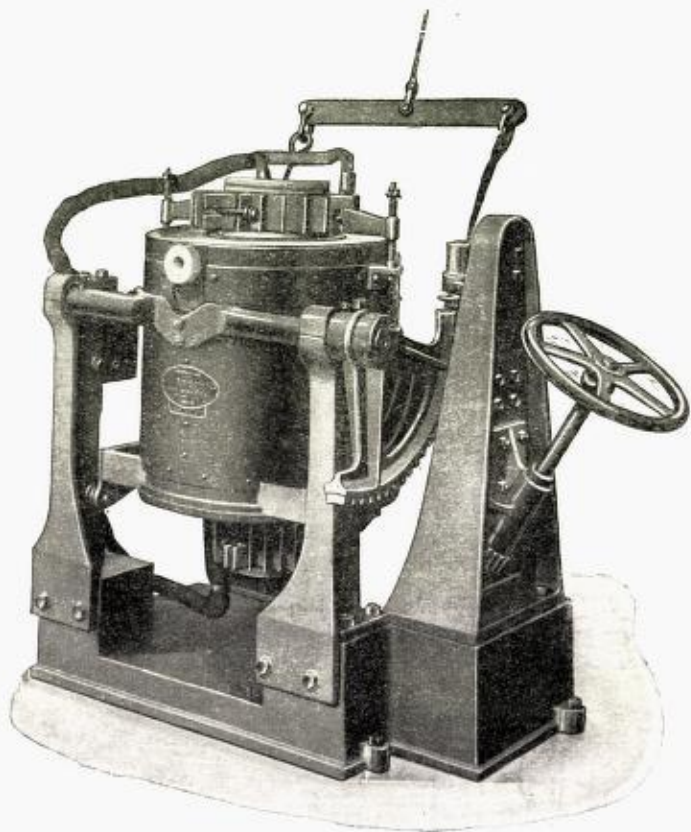


Fig. 3.

Fjærene (6) tillater diglen at utvide sig frit i længderetningen eftersom dens temperatur varierer.

Indvendig er diglen forsynet med en elektrisk isolerende 3 a 4 mm. tyk *foring* (3). Denne isolerer metallet fra diglen og beskytter den mot oksydation indvendig. Dette sidste spiller især en rolle naar digellokket (ikke vist paa figuren) tas av for tømning og charging, og før metallet er smeltet, mens diglens vægger er udækket.

Nedentil er diglens bund git en tykkere forlængelse for fæste av den anden *strømtilførsel*, bestaaende av en ring (14) lignende den øvre (5).

Diglen er sat ind i et cylindrisk *ovnshus* av jern (7) og holdes i rigtig høide av en skrue (16). Ovnshuset er forsynet

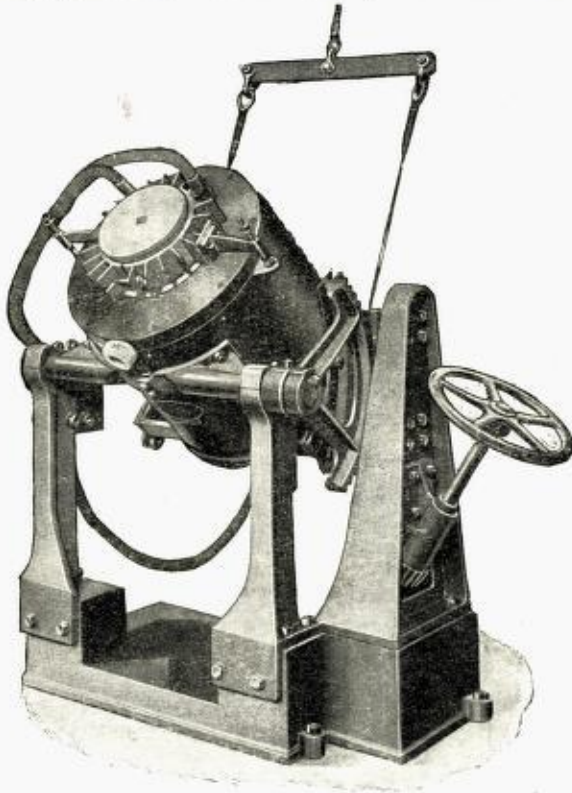


Fig. 4.

med en *ildfast utmuring* av faconsten (8) som dog ikke slutter tæt til diglen.

Spillerummet er nederst fyldt med fin sand (11) som hindres fra at rende ut ved at den nedre *strømtilførselsring* har en krave som passer ind i en rende i husets bund, hvori ligger en asbestpakning (13), som samtidig elektrisk isolerer kraven fra ovnen.

For at ikke skruen (16) skal danne ledning til ovnshuset er bøilen, som denne er skrudd ind i, ogsaa isolert (12).

Ovenpaa sanden (11) i spillerummet mellem digel og utmuring fyldes grafitpulver eller blade (10), hvorved diglen effektivt beskyttes mot oksydation utvendig.

Herved beskyttes ogsaa muringen endel.

Sanden (11) i bunden av spillerummet er anvendt for at hindre at grafitten (10) skal kunne føre strøm, som ellers kunde gaa direkte, fra øvre til nedre elektrodering, altsaa utenom diglen.

Ovnshuset har *tapper* (9) hvormom ovnen kan kippes for tømning.

Disse tapper kan som nævnt enten være anbragt omtrent i høide med ovnens tyngdepunkt (fig. 5) eller i en akse, som gaar gjennem diglens uttapningstut (fig. 3 og 4).

*Ledningsskemaet* er vist i fig. 2 saavel for vekselstrøm (øverst) som for likestrøm.

Strømmen kan ikke tas direkte fra ledningsnettet, dels fordi ovnen maa arbeide med lav spænding, fra 15 til 30 volt, og dels fordi der trænges en spændings-regulering inden disse grænser.

For at opnaa dette maa der ved vekselstrøm anvendes en med flere trin forsynet transformator *T* og *R*, ved likestrøm en motor *M*, som driver en lavspændt dynamo *D* hvis spænding kan reguleres ved en feltregulator *R*. — *A*, *B* og *V* betegner henholdsvis amperemeter, bryter og voltmeter og trænger likesom skemaet i sin almindelighet neppe nærmere forklaring.

Dette at man ikke kan bruke netspændingen og maa ha saapas stor regulering er selvfølgelig en mangel, men undgaaes vanskelig ved en elektrisk smelteovn, hvor der forlanges en god temperaturkontrol.

Ved denne type er desuten en vid spændingsregulering nødvendig av hensyn til, at diglens motstand falder sterkt efterhvert som den blir varm og stiger langsomt for hver gang den har været stillet av.

*Betjeningen* er den simplest mulige.

Første gang diglen brukes maa den, som en anden digel, først utglødes.

Dette gjøres efter at den er innsat i ovnen og foregaar ganske enkelt derved, at man ved hjælp av *R* (fig. 2) regulerer



spændingen saa lavt, at diglen kun faar saa meget strøm, at den (tom) blir mørkerød efter ca. 1 times tid. Det passer omtrent at ha  $\frac{1}{4}$  av den normale energi, ca. 7,5 KW.

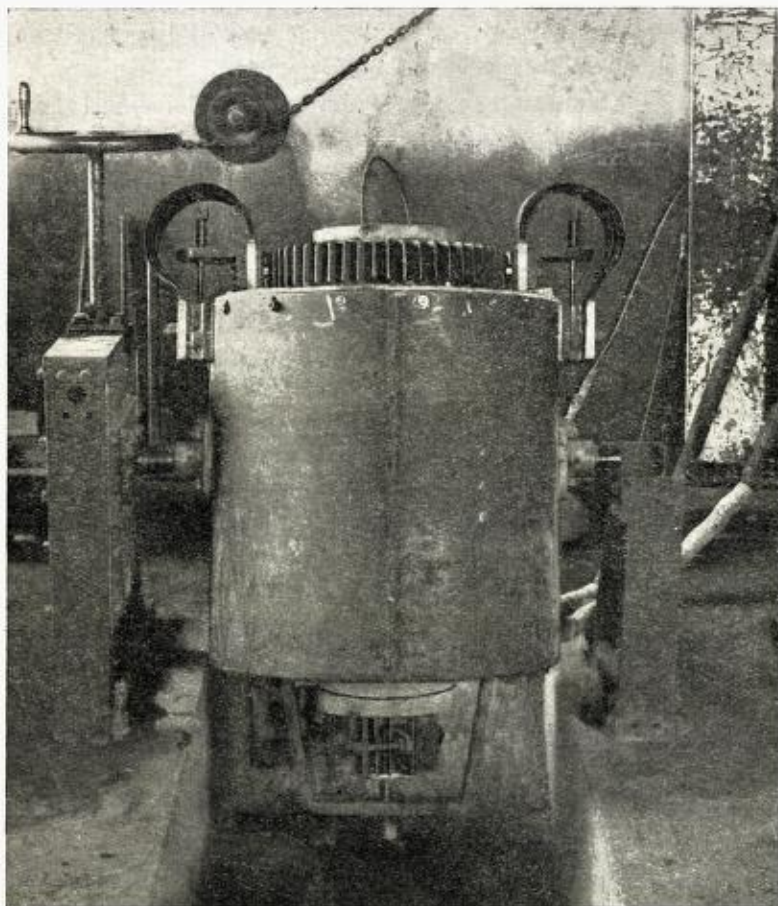


Fig. 5.

Energien kan nu økes til ca. 15 KW., og diglens charging og dermed den regulære drift kan paabegyndes saasnt den er blit lyserød.

Ved paafølgende igangsætninger fra *kold* ovn kan det være heldig at sætte paa den spænding, som ovnen arbejder med ved

fuld belastning *varm*. Man faar da ved starten ca. halv belastning fordi ovnens motstand i kold tilstand er ca. dobbelt saa stor som i *varm*.

Efterhvert som nu ovnen blir varmere falder motstanden, og energien stiger til ca. fuld belastning naar diglen er blit helt *varm* uten videre nævneværdig regulering.

Naar energien nærmer sig 30 KW. finreguleres, saa denne energi saavidt mulig faaes.

Diglen bør fyldes saasnart dagens smeltning er slut og lukkes med et tæt lok saaledes at der ved næste igangsætning ingen chargering blir, før det ifyldte metal er nedsmeltet.

Ved denne ordning kan en vagtmand, portner e. l. sætte ovnen igang 1 a 2 timer før arbeidstidens begyndelse, og ovnen kan staa færdig opvarmet med delvis smeltet metal til støperi-personalet kommer. Samtidig vil diglens levetid ved denne langsomme opvarmning forlænges noget. Denne fremgangsmaate har uten uheld været benyttet ved Minevæsenet den hele tid, ca. 8 maaneder. — Ønsker man eller maa man av en eller anden grund fragaa dette arrangement, kan ovnen ogsaa sættes igang med fuld belastning, ca. 30 KW.

Efterat ovnen er kommet vel igang har man kun at paase, at energien holdes paa 27 a 30 KW. samt at paafylde metal efterhvert som det smelter ned.

Før mest mulig at undgaa den oksydation av diglen og metallet, som kan foregaa naar lokket tas av, bør der kun efterfyldes to gange.

Naar alt metal er smeltet og bragt paa rigtig temperatur tømmes ovnen ved at kippes.

Dette bør om mulig ske direkte i form eller kokiller, men kan dette ikke arrangeres, heldes først over i forvarmet støpeøse.

Saasnart ovnen er tom, tilsættes den mest mulig nyt metal og lokket paasættes. Skal flere smelter foretas samme dag — og der tilraades altid at gjøre flest mulige smelter i serie — kobles derefter straks fuld belastning paa og denne opretholdes under resten av driften; den slaaes kun av mens diglen tømmes.

### Driftsdata, energiforbruk m. v.

Som bekjendt uttrykkes det utførte elektriske arbeide ved at multiplicere de tre faktorer strøm i ampere (I), spænding i volt (V) og tid (t) f. eks. i timer. Hertil kommer, hvis det er enfaset vekselstrøm, en faktor  $\cos \varphi$ , bestemt av den saakaldte faseforskyvning. Da der i ovnen praktisk talt ikke findes induktiv motstand vil  $\cos \varphi$  paa det nærmeste bli = 1 og vi faar samme formel for baade likestrøm og vekselstrøm. Flerfaset vekselstrøm kommer ikke til anvendelse ved ovnen og medtas derfor ikke.

Det ovennævnte produkt

$$A = I \cdot V \cdot t$$

kaldes watt-timer, mens man helst regner med kilowatt-timer (KWt) som er = 1000 watt-timer.

Omsættes en kilowatt-time i varme faaes ca. 865 kg. kalorier eller saa megen varme som trænges til at opvarme 865 kg. vand 1° Celcius (fra 0° til 1°).

Desværre er der i daglig tale, selv blandt teknikkere, ind-sneget sig en slendrian med hensyn til betegnelsen elektrisk energi, idet den brukes iflæng for KW. og KWT. — aldeles som man ved maskiner ofte er unøiagtig med betegnelsen arbeide (Kgm.) og arbeide pr. sek. (Kgm./sek. eller HK.).

For at undgaa navnelikhet — og dermed forvekslinger — er der nedenfor anvendt uttrykket *belastning* som betegnelse for produktet strømstyrke  $\times$  spænding.

Dette produkt, svarende til hestekraften HK. for en maskin. betegner altsaa arbeidsydelsen *pr. sekund*, men uttaler forøvrig intet om, hvormeget arbeide der i det hele utføres, ti det av-hænger av *hvorlænge* der arbeides.

Som under betjeningsforskrifterne anført er normal *full belastning ca. 30 KW*.

Da diglens motstand (varm) er ca. 0,012 ohm, naar den er ny, maa *spændingen* holdes paa ca. 19 volt, hvorved *strømstyrken* blir ca. 1600 ampere.

Som nævnt stiger motstanden i almindelighet litet efter hver kold igangsætning og stiger mot slutten av dens levetid til ca. 0,03 ohm.



For da at faa *fuld belastning* maa der anvendes ca. *30 volt* og *1000 ampere*.

Inden disse grænser bør altsaa spændingen kunne reguleres.

Ved Minevæsenet haves likestrøm, hvorfor en roterende omformer, som vist nederst paa fig. 2, er installert.

Spændingen kan her varieres helt fra 15 til 30 volt i meget smaa trin.

Dette har været særdeles bekvemt og greit at arbeide med, men det er meget dyrt i anskaffelse, og til almindelig bruk er det ikke nødvendig at ha flere end ca. 7 trin a 2 volt fra 18 til 30.

*Energiforbruket* er for almindelig kanonbrøse, ca. 88 % kobber, 10 % tin og 2 % sink, omtrent *30 KWT. pr. 100 kg.*, d. v. s. smeltetiden er ca. 1 time med en konstant belastning av 30 KW.

Dette er naar ovnen er varm.

Til opvarmning fra kald tilstand bør regnes ca. 25 KWT. ekstra.

Ogsaa av denne grund bør der foretas flest mulige smelter i serie.

Naar chargen tilsættes kald eller med almindelig værelse-temperatur trænges der til smeltning av 100 kg. kanonbrøse ca. 13 500 kal.

30 KWT. svarer til ca. 25 959 kal.

Ovnens nyttevirkning er altsaa

$$\frac{13500}{25905} = 0,52 \text{ eller } 52 \%$$

Dette er for en *saa liten ovn* meget tilfredsstillende, hvilket jo er rimelig nok naar man tar i betragtning at varmen utvikles i selve diglens vægger og at der er et særdeles litet «dødt rum» som opvarmes.

De største tap ligger i begge strømtilførslerne, selve ovnen blir ved kontinuerlig drift ikke utvendig mere end haandvarm, saa straaletapene den vei er meget smaa.

Til sammenligning kan anføres at en almindelig koksovn bruker ca. 50 kg. koks, svarende til  $50 \times 6500 = 325\,000$  kal. og en nyttevirkning = ca. 4,2 %.



### **Energiens kostende pr. kg. smeltet metal.**

Dette spørsmål lar sig ikke besvare i sin almindelighet, da det avhænger av de lokale forhold, som tarifens art og størrelse, antal driftstimer, adgang til spildkraft o. l.

Sker betalingen for den elektriske energi efter KWT., er regnestykket forsaavidt enkelt nok, idet man for den første smelte i en serie regner 55 KWT. og for hver av de følgende 30 KWT.

Betales der f. eks. 20 øre pr. KWT. og der paa dagen utføres 5 smelter, har man brukt ialt 175 KWT. = 35 kroner til smelting av 500 kg. eller 7 øre pr. kg.

Med en koksovn vilde brændselsutgifterne, opfyringen medregnet, antagelig komme paa ca. det halve eller to tredjedeler.

Som det senere skal sees vil denne merutgift ved smelting mere end indvindes ved formindsket avbrand og arbeidsløn.

Det almindeligste her tillands er imidlertid betaling efter maksimaltarif, og da kan kraftutgifterne kun angis for hvert enkelt lokalt tilfælde.

Kan man f. eks. smelte paa en tid da andre energiforbrukende driftsmidler ikke arbeider, saaledes at maksimalforbruket ikke overstiges, vil man kunne ha kraften gratis.

Dette kan vel i de færreste tilfælder arrangeres. Derimot vil man delvis kunne redusere maksimalforbruket av kraft der ved, at man lar en vagtmand sætte igang ovnen før arbeidstidens begyndelse slik at ovnen er fuldt opvarmet og smeltingen igang ved arbeidstidens begyndelse, og saa fullføre smeltingen med reducert belastning, f. eks. 20 KW.

Med denne reducerte belastning kan der saa arbeides til midt paa dagen, da belsningen sløifes eller reduseres sterkt, da man kan sætte fuld belastning paa uten at øke »toppen«. Specielt i middagstiden kan ovnen arbeide fuldt ut uten tilsvarende merutgift til strøm.

Naturligvis gaar der da længere tid med, ca. 1½ time mot ellers 1 time, men i mange støperier vil man allikevel kunne klare den daglige smelting, idet man ialfald kan faa 3 smelter.

Det mest avgjørende er dog, hvor kontinuerlig ovnen kan holdes i drift.

Smeltes der kun f. eks. 200 kg. om *uken*, blir det selvsagt dyrt med maksimaltarif.

Betales der 200 kr. aarlig for 1 KW., maa man, selv om maksimalbelastningen kun økes med 20 KW., betale 4000 kr. for smeltning av 10 000 kg. eller 40 øre pr. kg. metal.

Smeltes derimot *daglig* la os si selv om det bare er 200 kg. blir det den samme betaling for 60 000 kg. eller  $6\frac{2}{3}$  øre pr. kg. metal.

Smeltes daglig flere end to smelter kan omkostningerne beregnes paa lignende maate, men der bør da regnes med at »toppen« økes med det fulde beløp 50 KW. — Som det nedenfor nærmere skal paavises vil det lønne sig at bruke elektrisk smeltning, selv om kraften pr. kg. metal betydelig overskrider  $6\frac{2}{3}$  øre.

### Avbranden.

Ved al metalsmeltning er avbrandens størrelse av en dominerende betydning, og det derav følgende tap blir økonomisk desto føleligere, jo kostbarere legeringen er.

Regnes f. eks. med dagens metalpris paa kobber kr. 2,65, tin kr. 5,60 og sink kg. 0,95, faaes for almindelig kanonbronse et kostende pr. kg. legering = ca. kr. 2,90.

Hver procent avbrand koster altsaa da 2,9 øre.

Ved den elektriske ovn er avbranden for kanonbronse under driftsmæssige forhold maalt ca. 50 gange og fundet i minimum 0,95 % og maksimum 1 % eller *praktisk talt* 1 %.

Heri indgaar tapet ved skumning og spild, saa det vil forstaaes, at den egentlige avbrand som foraarsaker oksyd, forurenning, er ganske forsvindende.

Ved en brændselfyret ovn vil den alt efter den omhyggelighet, hvormed fyringen passes, svinge mellem 3 og 6 %.

Regnes med 4 % som gjennomsnittsværdi, tapes i avbrand ca. 11,6 øre pr. kg. eller 8,7 øre mere end ved den elektriske. Man ser herav, at bare gjennom formindskelsen av avbranden kan man komme ut med samme smelteomkostninger som ved koksfyring, selv om utgiften til elektrisk kraft gaar op i ca. 12 øre pr. kg. (3,3 øre regnet til koksförbruk).



### **Metallets kvalitet.**

Som ovenfor nævnt er det ved avbranden at der dannes metaloksyder, som, hvis de ikke fjernes helt, forurenser metallet.

Det er derfor uten videre klart, at risikoen for at metallets kvalitet av den grund gaar ned stiger i samme forhold som som avbranden gaar op.

I samme retning virker ogsaa den omstændighet at legeringens sammensætning forandres, ti alle legeringsbestanddeler oksyderer ikke like sterkt.

Den færdige legering indeholder med andre ord ikke det samme, som blev tilsat diglen.

Dette blir først rigtig galt, naar avbranden ikke er ens for hver gang, for da kan manglen ikke avhjælpes ved paa forhaand at ta hensyn til forandringen. Og netop dette sker med en brændselfyret ovn, da fyringen ikke fra gang til gang er regulert nøiagtig ens.

Enhver praktisk støperimand vil ofte nok ha oplevet at en og samme slags metal engang blir for haard, en anden gang for bløt o.s.v.

Foruten disse fakorer er kvaliteten ogsaa avhængig av, at metallet under smeltningen ikke optar forurensninger fra de gasarter, det staar i berøring med.

Ved brændselfyrede ovner er metallet som bekjendt utsat for forbrændingsgasernes paavirkning.

Det kan ikke undgaaes at disse indeholder endel surs'of som bevirker oksydation (avbrand).

Men de vil ogsaa ofte indeholde f. eks. svovl, og her er man atter avhængig av de forskjellige kvaliteter av brændslet. Dette svovl har en sterk tilbøielighet til at trænge ind i metallet, hvor ved dettes kvalitet lider.

I en elektrisk ovn blir der selvsagt ikke tale om dette, ovnen holdes praktisk talt den hele tid hermetisk lukket, og med litt trækul paa toppen av badet vil der dannes en nøitral kuloksydgas i diglen, hvilket den lille avbrand ogsaa tydelig nok beviser.

Endelig kan i den elektriske ovn temperaturen av metallet før støpningen ganske anderledes sikkert baade reguleres og bestemmes end i en brændselfyret ovn. Støpetemperaturen er som bekjendt av stor vigtighet for en god støpning.

Det har da ogsaa vist sig i de 8 maaneders drift, at metallets kvalitet ikke alene er blit bedre, men fremforalt mere ensartet godt den hele tid, idet vrakstøpninger praktisk talt er ophørt. Den økonomiske betydning herav lar sig ikke godt beregne, da det avhænger av saa mange omstændigheter, først og fremst de krav som stilles til kvaliteten, dernæst hvormeget maskineringen koster, inden feilen kan opdages.

Ved torpedofabrikationen spiller denne post den største rolle for hele støperiets økonomi.

### Digelforbruket.

Diglens levetid er bestemt ved at grafitten tilslut brænder saa meget ut, at motstanden øker saa sterkt, at der ikke blir strøm nok til smeltning.

Dette har hittil altid skedd *over* smeltebadet eller i kanten av dette.

Det ytrer sig ved at der opstaar hvitglødende punkter eller ringer, som saa hurtig paa grund av den høie temperatur breder sig videre.

Inden dette sker stiger motstanden ganske langsomt, dog saaledes at dette væsentlig foregaar, hver gang diglen er blit helt avkjølet.

Jo flere smelter man kan ta i serie, desto flere smelter greier den ialt. Smeltes kun 2 a 3 gange for hver kold igangsettning, kan paaregnes ca. 40 smelter, ved 4 a 5 smelter i serie ca. 55 smelter og ved kontinuerlig drift nat og dag opimot 100 smelter.

Under driften hittil er saaledes opnaadd de i nedenstaaende tabel opsatte resultater:

Digel nr.	Antal			
	Smelter ialt	Middel	Kolde igangsettninger	Smelter pr. kold igangsettning
1	51		11	4,6
2	57	54	12	4,8
3	37		16	2,3
4	42	39	15	2,8
5	38		13	2,9
	97 <sup>1</sup>		2	48,5

<sup>1</sup> Denne prøve blev utført i Finspång i Sverige.



I fig. 6 er for to digler grafisk gjengit hvorledes motstanden vokser eftersom diglen brukes. Resultaterne kan variere litt, men holder sig i det store hele tat inden de ved kurverne gjengitte grænser. Likeledes optrær mindre variationer omkring den gjengitte middelkurve.

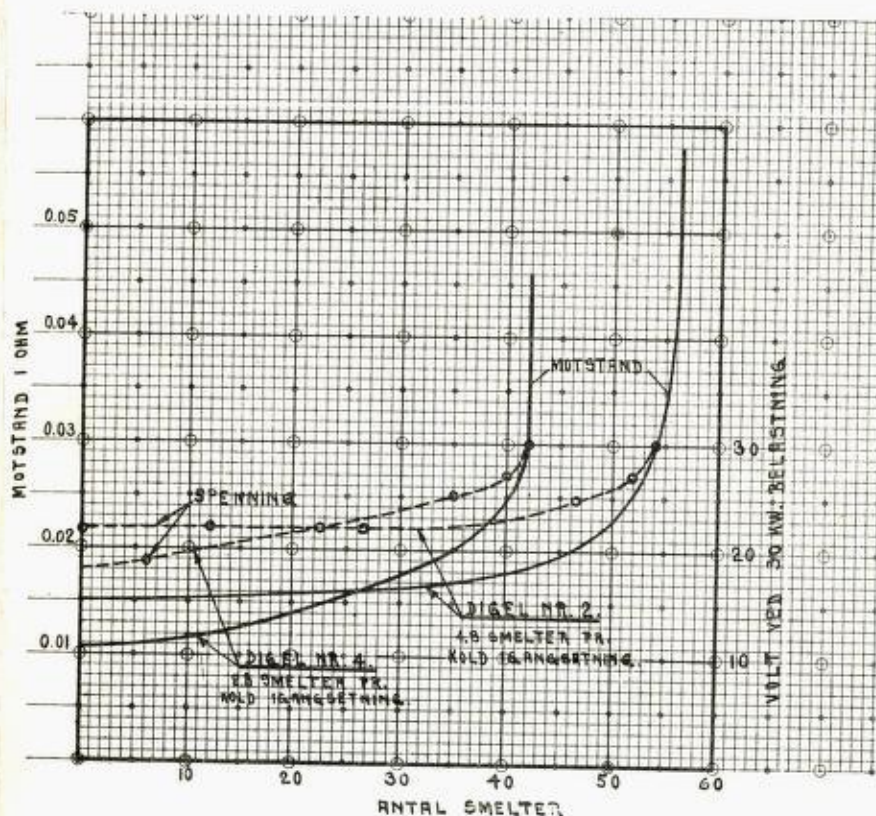


Fig. 6.

Av kurverne sees klart hvorledes motstanden stiger hurtigere jo færre smelter der utføres i serie.

Likeledes sees hvor skarpt motstandsstigningen angir at diglen er utbrukt.

I figuren er ogsaa indtegnet kurver, stiplet, visende den nødvendige spænding for at faa fuld belastning, 30 KW.

Naar motstanden øker over 0,03 volt, kan der ikke længere faaes fuld belastning; der kan i regelen kun smeltes 1 a 2 gange efter at denne værdi er naadd. Naar motstanden gaar op i 0,06 volt, blir belastningen kun 15 KW., hvilket er den laveste grænse hvormed smeltning med sikkerhet kan utføres.

Av ovenstaaende vil det sees at der heller ikke for digelomkostningerne kan stilles op noget for alle tilfælder passende beløp.

Sætter man som et middeltal 3 a 4 smelter i serie, vil der kunne paaregnes ca. 45 smelter pr. digel, og da en digel koster £ 5.0.0 eller med normal kurs ca. 90 kr., vil hver smeltning paa 100 kg. svare til et digelkostende av ca. 2 kr. eller 2 øre pr. kg.

Til sammenligning kan nævnes at i en koks- eller oljeovn vil man neppe kunne regne med mere end 20 smelter pr. digel, men til gjengjæld vil en saadan være adskillig billigere, antagelig ca. £ 1.0.0 eller ca. 18 kr. normal kurs.

Dette gir et digelkostende av ca. 0,9 øre pr. kg. eller 1,1 øre mindre.

#### **Ildfast utmuring.**

Efter de hittil utførte ca. 250 smelter har denne ikke undergaat nogensomhelst forandring og isolert som den er ved grafitpulver fra diglen og helt fri for paavirkning av varme gasarter, kan man sikkerlig regne med, at denne vil staa i aarevis, saa man praktisk talt ikke behøver at regne med slitageomkostninger hertil.

#### **Arbeidsløn.**

Der er ingensomhelst anden betjening nødvendig end at fylde i chargen efterhvert som metallet smelter ned, samt fra tid til anden regulere spændingen av strømmen.

Som ventelig arbeider ovnen ganske jevnt uten nogensomhelst slags støt, den kan indstilles paa nærmeste KW. og kan forlates helt, naar man har faat litt erfaring for, naar spændingen maa reguleres.

#### **Temperaturen**

kan som følge av den jevne arbeidsmaate og den lette regulerbarhet vælges og holdes *aldeles efter ønske*, hvilket som bekjendt er en av hovedbetingelserne for at kunne faa gode støpninger. Paa grundlag av det ovennævnte er følgende driftsberegning opstillet:

Sammenligning mellem elektrisk ovn  
og koksfyret ovn.

	Elektrisk ovn.	Koksfyret ovn.
Kraftforbruk <sup>1</sup>	8,0 øre/kg.	—
Koks <sup>2</sup>	—	4,5 øre/kg.
Digel <sup>3</sup>	2,0 »	0,9 »
Avbrand	2,9 »	11,6 »
Arbejds løn	2,0 »	4,0 »
Ildfast muring	—	2,5 »
	Ialt 14,9 øre/kg.	23,5 øre/kg.

Man faar altsaa pr. kg. en mindre-udgift ved elektrisk smeltning paa ca. 8,5 øre eller ca. 35 %.

Beregningen kan som sagt ikke gjælde i alle tilfælder, men efter de givne data skulde enhver forholdsvis let kunne utføre beregningen avpasset paa de lokale forhold.

Heller ikke er amortering og forrentning medtat, da ogsaa her de lokale forhold varierer saa meget.

Den elektriske ovn vil koste ca. 6000 kr., hvortil kommer transformator og elektriske instrumenter til antagelig omtrent det samme beløb.

Man ser av opstillingen hvilken dominerende rolle avbranden spiller. Tas den endnu billigere, 60/40 messing, vil forholdet ikke væsentlig forrykkes, idet avbranden da blir væsentlig meget større for en koksovn. Til slutning skal nævnes, fordi lignende tilfælder ogsaa kan indtræffe hos andre, at der ved Minevæsenet for en utgift av ca. 1000 kr. er omsmeltet ca. 20 000 kg. gammelt skrap med en salgsværdi av ca. 10 000 kr. til godt metal med en salgsværdi av ca. 50 000 kr., eller med andre ord at der paa et aar *bare paa denne operation* er tjent ind ca. 40 000 kr. eller 3 a 4 komplette ovnsanlægs kostende.

Naar dette kan gjøres paa den maate, kommer det dels av at det er utført med spildkraft i den lyse del av aaret, dels av

<sup>1</sup> Regnet med 200 kr. pr. KW. aar og 300 kg. metal pr. dag og 250 smeltedager pr. aar.

<sup>2</sup> Regnet med 90 kr. pr. 1000 kg. (ikke 10 hl.).

<sup>3</sup> Normal sterlingkurs for begge digelsorter. — Se anm. tilslut.



at personalet kan utnyttes meget bedre, men fremforalt fordi man let og sikkert kan befri skrapmetallet fra dets forurensninger.

F. eks.: I skrapet er endel jernskruer som er rustet fast og ikke kan faaes ut uten ved møisommelig arbeide. Ved at regulere temperaturen saa metallet *saavidt* smelter — hvilket er praktisk talt umulig i andre ovner — opløser ikke jernet sig i metallet, og da dets sp. vekt er mindre end bronsens, flyter alle jernskruerne op og kan skummes av. Blir de i metallet, ødelægges dette.

---

Ogsaa i Tyskland fabrikeres en lignende ovn av HUGO HELBERGER, München, men den største ovn er kun paa 20 kg. og detaljerne synes mig ikke saa smukt løst teknisk.

Kan man nøie sig med en saa liten ovn som for 20 kg., bør den komme i betragtning ved valget.

Ved denne ovn, hvor diglen ogsaa opvarmes direkte ved at strømmen gaar gjennom den, er diglen til at ta ut.

Herved opnaaes noget større fleksibilitet, men det sker paa bekostning av varmeisolationen, kontakternes godhet og diglens levetid.

Endvidere brukes almindelige digler, som behandles paa en egen patentert maate, hvilket vel betyr at de indvendig paa-smøres et isolasjonsstof.

Det forekommer mig tvilsomt, om dette kan bli saa bra som ved Morgans ovn, hvor isolationen anbringes under fabrikation.

---

### Slutning.

Alt i alt maa ved denne ovnstype problemet elektrisk metal-smeltning for forholdene i vort land sies at være baade teknisk og økonomisk vellykket løst.

Man faar billigere smeltning, sikrere og bedre gods og en langt behageligere ovn at arbeide med.

Dette sidste har sin betydning derigjennem, at personalet faar øket interesse for arbeidet, da det for enhver pris vil undgaa at bli sat tilbake til en brændselfyret ovn.

---

Den ovenfor beskrevne elektriske ovn kan naarsomhelst av interesserte sees i drift ved Marinens Minevæsen, Horten, ved henvendelse til overingeniør Bull, hos hvem yderligere oplysninger ogsaa kan faaes.

Horten, oktober 1921.

*J. Bull.*

*Anm.* Siden ovennævnte rapport indsendtes har ovnen været i drift yderligere ca. 5 maaneder og de gjorte erfaringer er i alt væsentlig bekræftet.

Følgende nye ting skal anføres:

1. Digelens kostende er reduceret fra £5 til £3, hvorved digelutgifterne blir omtrent som for almindelige smelteovner.
2. Der er under prøvning en forbedret type for høiere spænding, muligens helt op til 110 volt, og
3. en konstruktion hvorved energien kan fordeles paa 2 eller 3 faser samtidig. Herved vil anskaffelsesudgifterne gaa betydelig ned og økonomien endel op.

Horten, 20de mars 1922.

*J. Bull.*

### SUMMARY.

Preliminary tests have been gone through with:

1. Arcfurnaces.
2. Resistancefurnaces.
3. Inductionfurnaces.
4. Electrically heated crucibles.

The last type was chosen for tests on a technical scale, two 200 lbs. furnaces of this type from Morgan Crucible Company Ltd., Battersea, London, were installed in the brass foundry, where they during one year have been doing all the melting.

The reasons for the choice were principally:

- a) Low melting loss, about 1 % for gunmetal.
- b) Good efficiency, a little above 50 % for a small sized 200 lbs. furnace.

- c) Perfect controll of temperature.
- d) Simplicity in manipulation.
- e) Simplicity in design and maintainance.

The Morgan furnace is described and shown in illustrations, figs. 1, 2, 3, 4, & 5.

Energy-consumptions from tests under working conditions are given, p.17, and energy-cost under various assumptions.

Page 20—22 gives the melting loss and some remarks as to the quality of the metal, which as may be forecasted is good.

The behaviour of the crucible, its lifetime, number of melts for each cold start, the variation of the resistance &c. is described in p. 22—24.

Then a few remarks are given on the refractory lining, the labour-cost and the temperature-controll.

The paper ends, p. 25—27, with a comparison between the electric and the coke fired furnace.

It is of course perfectly impossible to make up a calculation correct for all conditions; the figures must alter according to local peculiarities, output, class of metal &c.

But a fair average is taken corresponding to a small furnace for castings, and it is shown that there is a gain of about 35 % in favour of the electric furnace.

The furnace has worked entirely satisfactorily during the whole year and is strongly recommended.

