
Rapport SGC 014

**MODERN GASTEKNIK I
GALVANISERINGSINDUSTRI**

John Danelius
Vattenfall Energisystem AB

November 1991



Rapport SGC 014

MODERN GASTEKNIK I GALVANISERINGSINDUSTRI

John Danelius

Vattenfall Energisystem AB

November 1991

SGC:s FÖRORD

FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat e dyl i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns i slutet på denna rapport.

Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) är ett samarbetsorgan för företag verksamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD). SGC har f n följande delägare: Svenska Gasföreningen, Vattenfall Naturgas AB, Sydgas AB, Vattenfall AB, Sydkraft AB, Göteborg Energi AB och M.E.Malmö Energi AB.

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Thunell

SAMMANFATTNING

En teknisk och ekonomisk studie har genomförts för en zinkugn med kapaciteten 15 000 årston som skall uppföras vid Gävle Galvan AB. Härvid har två olika moderna gaseldningstekniker jämförts med konventionell eluppvärmning: eldning med höghastighetsbrännare respektive immersionsbrännare. En viktig förutsättning har varit att ugnen skall utföras med ståldegel vilket möjliggör sidovärmning med el eller gas.

Vid kapaciteten 15 000 årston motsvarande en timmedelkapacitet av 4,5 ton/h och ett gaspris av 20 öre/kWh är energikostnaden lägre med gaseldning än med eluppvärmning för båda gaseldningsalternativen. Totalkostnaden blir dock högre för zinkugnen med immersionsbrännare.

Gaseldning av stora zinkugnar med ståldegel är i jämförelse med eluppvärmning lönsam när tekniken med höghastighetsbrännare används. Vid rådande elpriser blir besparingen c:a 230 kkr/år vid kapaciteten 15 000 årston. Brytpunkten där totalkostnaden blir densamma för gaseldning som för elvärme inträffar vid ett gaspris av c:a 22 öre/kWh.

På grund av en avsevärt högre investeringskostnad för en stor zinkugn utrustad med immersionsbrännare (30 st) i jämförelse med höghastighetsbrännare (4 st) är det i dag ej lönsamt att utrusta ugnen med immersionsbrännare.

Tekniken med höghastighetsbrännare är dock lönsam för ugnar med keramisk degel samt för mindre ugnar. Vid konvertering från konventionell gaseldning till gaseldning med immersionsbrännare kan energibesparingar på upp till 25 - 40 % uppnås.

Möjligheten att utrusta en zinkugn med dubbla uppvärmningsanordningar för både el och gas samt teknik och ekonomi för värmeåtervinning ur avgaser bör närmare utredas.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	INLEDNING	2
1.1	Bakgrund	2
1.2	Målsättning	2
2.	VARMFÖRZINKNINGSPROCESSEN	2
2.1	Allmänt	2
2.2	Förbehandling enligt den våta eller torra metoden	3
3.	UTRUSTNING FÖR VARMFÖRZINKNING	5
3.1	Olika typer av ugnar	5
3.2	Uppvärmingsprinciper	7
3.2.1	Allmänt	7
3.2.2	Elektrisk motståndsvärmning	7
3.2.3	Elektrisk induktionsvärmning	8
3.2.4	Elektriska doppvärmare	9
3.2.5	Konventionell gaseldning	11
3.2.6	Gaseldning med modern gasteknisk utrustning	13
3.3	Energiförbrukning	14
3.4	Zinkbadets temperatur och temperaturreglering	16
3.5	Ståldegelns livslängd	18
4.	NY ANLÄGGNING, TEKNISK BESKRIVNING	20
4.1	Förutsättningar	20
4.2	Elvärme	21
4.3	Gaseldade höghastighetsbrännare	23
4.4	Gasdrivna immersionsbrännare	24
4.5	Sammanställning av tekniska data	26
4.6	Erforderlig effekt	27
5.	NY ANLÄGGNING, KOSTNADER	30
5.1	Investering och kapitalkostnader	30
5.2	Energikostnader	31
5.3	Underhållskostnader	35
5.4	Sammanställning av kostnader och känslighetsanalys	37
6.	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	40
7.	REFERENSER	41

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Den svenska galvaniseringsindustrin förbrukar i dag mycket el i sina processer. Energibehovet för varmhållning av zink och godsvärmning uppgår till c:a 220 kWh per ton gods vid eluppvärmning [Briand 1982]. Många oljeeldade zinkugnar konverterades under sjuttioalet till el. I dag är samtliga anläggningar i Sverige med en årskapacitet av c:a 10000 årston gods och däröver elvärmda. Med ökande elpriser kan på sikt en återgång till gas eller olja vara tänkbar. Från miljösynpunkt är då naturgas eller gasol att föredra.

Gävle Galvan AB planerar att bygga en ny galvaniseringsanläggning. Den nya anläggningen får kapaciteten 15 000 årston gods.

1.2 Målsättning

Målet med denna studie är att jämföra teknik och kostnader för tre alternativa uppvärmningsprinciper nämligen:

- Konventionell elvärmning med motståndselement
- Uppvärmning med gaseldade höghastighetsbrännare
- Uppvärmning med gaseldade immersionsbrännare

Studien är baserad på förutsättningarna vid Gävle Galvan AB och kommer att utgöra beslutsunderlag.

2. VARMFÖRZINKNINGSPROCESSEN

2.1 Allmänt

Varmförzinkning är den mest ekonomiska metoden för korrosionsskydd av stålkonstruktioner där lång livslängd eftersträvas. Kostnaden för varmförzinkning anses vara ungefär 50% lägre än för sandblästring och målning. [Porter 1982]. Processen innebär nedsänkning av förbehandlade och därmed väl rengjorda ståldetaljer (alt. tråd, plåt, wire etc.) i ett zinkbad med temperaturen 450 - 460°C. Stålet och zinken bildar en legering med mycket god vidhäftning och korrosionsskyddande effekt. När ståldetaljerna lyfts upp ur badet utgöres det yttre skiktet av ren zink.

En zinkbeläggning med tjockleken 120 μ m räcker för att skydda stålkonstruktioner i normal stadsluft under en tid av c:a 25 år. Jämförelser med vanliga ytbeläggningar (ex. färg) är svåra att göra men den förväntade livslängden för dessa är av storleksordningen 8 - 10 år. [Gogler 1987]

En näst intill fördubbling av tjockleken till 200 μm kan ge den dubbla livslängden med en kostnadsökning av c:a 50%. [Porter 1982]

Man skiljer mellan intermittent och kontinuerlig process. Denna rapport behandlar den intermittenta processen där godset satsvis nedsänkes i zinkbadet. Tunnpå, tråd, wire och liknande produkter galvaniseras som regel i kontinuerliga processer vilka ej förekommer vid Gävle Galvan AB.

Vid varmförzinkningsprocessen bildas hårdzink som är en legering av järn och zink med större densitet än ren zink varför den sjunker. Hårdzinken måste regelbundet lyftas ur zinkbadet och för att underlätta detta finns ett lager av smält bly i badets botten som hårdzinken flyter på. Hårdzinken förbrukar stål och ren zink samt är arbetskrävande att lyfta bort vilket innebär att det är angeläget att minimera dess framställning. En av de viktigare faktorerna som påverkar hårdzinkproduktionen är, förutom badets temperatur, den typ av förbehandling av godset som användes. Förbehandlingen utföres enligt den våta eller torra metoden som beskrivs kortfattat i avsnitt 2.2. Dessutom påverkas hårdzinkproduktionen av om ståldegel eller keramisk degel användes till zinkbadet.

Förutom hårdzink bildas även aska som flyter ovanpå zinkbadet. Eftersom värdet av askan endast uppgår till c:a 15 - 25% av värdet på ren zink [Cook 1986] och att askan förbrukar ren zink, är det viktigt att även minimera produktionen av askan. Det är härvid av yttersta vikt att tillföra så små mängder flussmedel som möjligt.

Vid analys av data från 20 galvaniseringsanläggningar i USA visade det sig att varje kg tillfört flussmedel producerade inte mindre än 17 kg aska. [Cook 1986]

2.2 Förbehandling enligt den våta eller torra metoden

Den *våta metoden* innebär att flussmedlet ligger och flyter på zinkbadets yta medan vid den *torra metoden* flussmedlet påföres i ett separat flussbad. Tidigare användes ofta den våta metoden men eftersom den torra metoden har flest fördelar konverteras många förzinkningsanläggningar till den torra metoden.

Arbetsmomenten vid förbehandling enligt de två metoderna är följande:

VÅTA METODEN

Avfettning
Ev. Sandblästring
Betning
Galvanisering
Efterbearbetning
Kylning
Efterbearbetning

TORRA METODEN

Avfettning
Ev. Sandblästring
Betning
Sköljning
Flussning
Torkning
Galvanisering
Ev. efterbearbetning
Kylning
Ev. efterbearbetning

Sandblästring erfordras endast om godset är målat eller har gravrost.

Några av *fördelarna med den våta metoden* är färre arbetsmoment, mindre antal kassationer av dåligt förbehandlat gods och mindre stänk vid galvanisering av ihåligt gods. [Cook 1986]

Bland *nackdelarna med den våta metoden* kan nämnas: [Cook 1986]

- Onödigt tjock zinkbeläggning
- Hög produktion av hårdzink
- Arbetsintensiv efterbehandling (borttagning av överflödig zink m.m.)
- Risk för låg finish på galvaniserat gods
- Relativt låg genomloppshastighet vid badet
- Hög kostnad för flussmedel (c:a 4 ggr högre än för den torra metoden)
- Luftföroreningar (rök från badet)

Fördelarna med den torra metoden är följande: [Cook 1986]

- Tunn zinkbeläggning med attraktivt utseende
- Hög genomloppshastighet vid badet
- Låg produktion av hårdzink
- Låg åtgång av flussmedel
- Låga halter av luftföroreningar
- Litet behov av efterbearbetning

Nackdelarna med den torra metoden är: [Cook 1986]

- Risk för alltför tunn zinkbeläggning
- Större risk för stänk om godset har hålrum
- Större krav på noggrann förbehandling och flussning
- Högre teknologi och därmed större behov av utbildning och processkontroll

Förutom de rent tekniska aspekterna anses den torra metoden ge avsevärt större lönsamhet än den våta metoden. Som ett exempel anges att ett litet galvaniseringsföretag i USA minskade sina årliga driftskostnader med \$ 260 000 vid övergång till den torra metoden. De största besparingarna hänför sig till minskad zinkåtgång, mindre kassationer och lägre hårdzinkproduktion. [Cook 1986]

Gävle Galvan prövar för närvarande den torra metoden i den befintliga anläggningen och planerar att köra den nya anläggningen enligt samma metod. Den nya anläggningen skall dock utformas så att båda metoderna skall kunna användas.

Avfettningsbadet är biologiskt ("oljeätande bakterier") vid Gävle Galvan och värmes ej.

Betbad för våta metoden värmes ej vid Gävle Galvan men kommer att värmas till + 30°C i den nya anläggningen.

Ingen sköljning efter betning utfördes vid förzinkning enligt den våta processen vid Gävle Galvan.

Flussbadet kommer att värmas till + 50°C vid den nya anläggningen.

Om alternativet med gaseldning väljes för den nya anläggningen finns goda möjligheter att återvinna avgasvärme för exempelvis torkning av gods samt uppvärmning av bad.

3. UTRUSTNING FÖR VARMFÖRZINKNING

3.1 Olika typer av ugnar

Två utföranden av zinkugnar förekommer, bad med keramisk degel och bad med ståldegel. Zinksmältan i bad med keramisk degel kan värmas uppifrån eller med i smältan nedsänkta elektriska doppvärmare eller gaseldade immersionsbrännare. Det går även att induktionsvärma zinken i ugnar med keramisk degel via en separat zinkkanal som leds genom en induktionsspole. Om ståldegel användes kan däremot samtliga uppvärmningsprinciper användas.

Bland fördelarna med keramisk degel kan särskilt nämnas:

- Lång livslängd
- Relativt enkelt att skräddarsy utformningen efter aktuell uppvärmningsprincip för att minimera erforderlig mängd zink och bly samt enklare hantering vid bortlyftande av hårdzink
- Mindre hårdzinkproduktion än för en ståldegel

Några nackdelar med keramisk degel är följande:

- Långt driftstopp vid byte av degel
- Eventuellt en något bredare kant runt zinksmältan
- Hög investeringskostnad

Bland fördelarna med ståldegel kan särskilt nämnas den relativt korta stilleståndstiden vid byte samt möjligheten att utforma installationen med en smal kant runt badet.

Till nackdelarna hör bl.a. den korta livslängden och hårdzinkproduktionen.

Vid en tidigare undersökning avseende förzinkningsindustrier i Skandinavien framkom att nästan hälften av alla bad då hade keramisk degel. [Porter 1982]

Figurerna 1 och 3 visar exempel på zinkugnar med keramisk degel och fig. 2 en zinkugn med ståldegel.

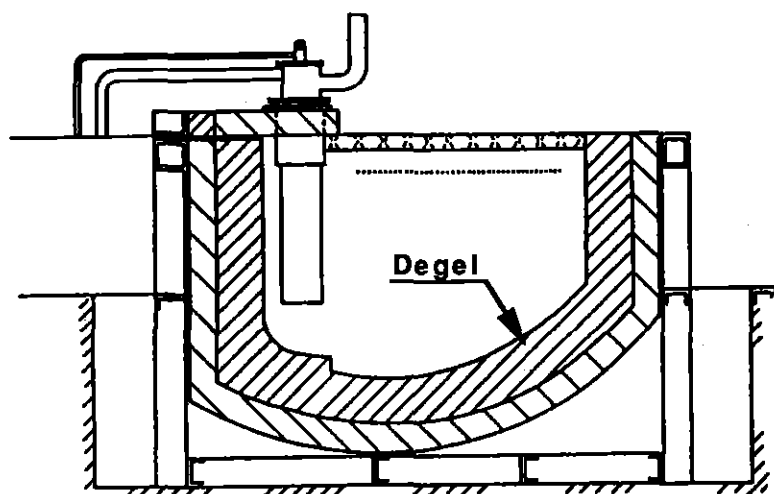


Fig. 1 Zinkugn med keramisk degel [Burns 1991]

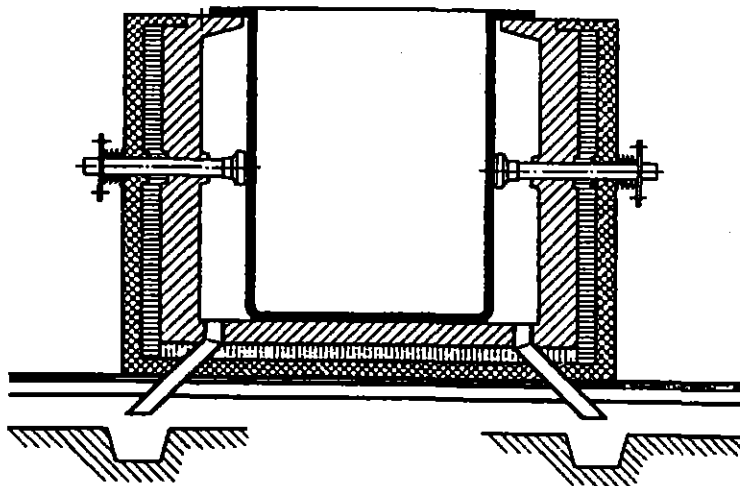


Fig.2 Zinkugn med ståldegel [Klammer 1972]

3.2 Uppvärmningsprinciper

3.2.1 Allmänt

Ett stort antal olika uppvärmningsprinciper för galvaniseringsbad förekommer och de helt dominerande energislagen är el respektive energigas. Den tidigare ofta använda oljeeldningen är numera så gott som undantagslöst ersatt av konventionell elvärmning eller gaseldning.

Vissa tekniker är helt dominerande i vissa länder, så var t.ex. 1984 i Östra Tyskland 90% av samtliga zinkugnar induktivt elvärmda [May 1984] medan i Västra Tyskland och USA gaseldning är den vanligaste uppvärmningsmetoden. I Frankrike är olika typer av eluppvärmning vanlig. Tekniken med *toppeldning* med gas- eller oljebrännare får anses föråldrad och behandlas ej i denna rapport.

I Sverige finns för närvarande (1991) fyra anläggningar med en kapacitet av c:a 10 000 årston och samtliga dessa är elvärmda, två med induktionsvärmning och två med motståndsvärmning. [Westerlund 1991]

3.2.2 Elektrisk motståndsvärmning

När tekniken med motståndsvärmning användes till zinkugnar med keramisk degel måste *ytvärmning* användas. Härvid är motståndselementen placerade i en isolerad låda som är monterad över en del av zinkbadets yta som värms av strålningsvärme, se fig.3. Motståndselementen matas med nätspänning via ställverk.

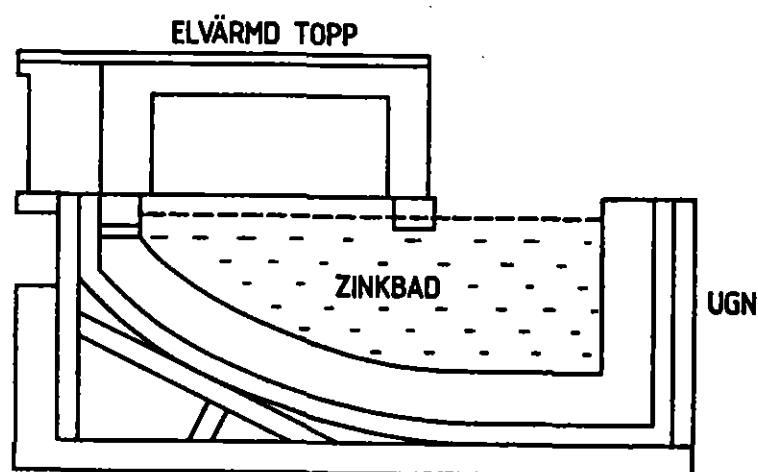


Fig.3 Zinkugn med elektrisk ytvärmning. [Johansson 1987]

Den största nackdelen med elektrisk ytvärmning är den extra mängd zink och ugnsvolym som erfordras enbart för värmeöverförning. Mindre än 50% av badets yta är tillgänglig för produktion och tekniken används huvudsakligen för mindre zinkugnar.

Zinkugnar med ståldegel och elektrisk motståndsvärmning utrustas med *sidovärmning* där motståndselement monteras vid degelns långsidor. Denna teknik är huvudalternativet till gaseldning vid den nya zinkugnen vid Gävle Galvan och behandlas därför separat i avsnitt 5.2.

3.2.3 Elektrisk induktionsvärmning

Zinkugnar med ståldegel utföres ofta med induktiv uppvärmning av degelns sidoväggar. Denna teknik innebär att hela degeln är innesluten inductionsspolar vars magnetfält direkt omvandlas till värme i degelns sidoväggar, se fig. 4. Principutformningen framgår av fig.5.

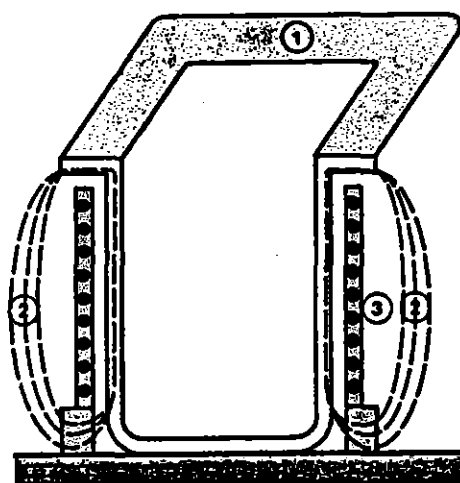


Fig.4 Magnetfältens utbredning i en induktionsvärmad zinkugn med ståldegel. [May 1984]
1 Ståldegel 2 Magnetfält 3 Induktionsspole

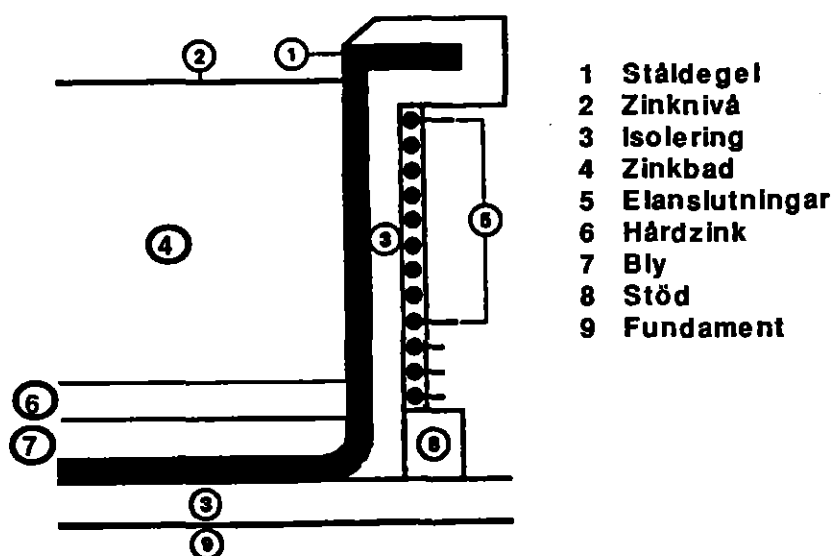


Fig.5 Zinkugn med ståldegel och induktiv uppvärmning [May 1984]

Induktionsspolarna anslutes direkt till lågspänningsnätet ($3 \times 380\text{V}$) via ställverk och ett relativt omfattande kondensatorbatteri för faskompensering. Som ett exempel kan nämnas att för erhållande av $\cos \phi$ 0,9 för en ugn med effekten 125kW erfordras inte mindre än 51 kondensatorer med kapacitansen $440\mu\text{F}$ samt en balansspole [Briand 1982]. Värmeförlusterna i induktionsspolen uppgår till c:a 5% [May 1984] varför verkningsgraden således blir c:a 95%. Tankens livslängd eller tid mellan underhåll av densamma anges till 4...8 år i litteraturen [May 1984].

Den befintliga zinkugnen vid Gävle Galvan med kapaciteten 10 000 årston respektive 5 ton/h är utrustad med induktiv uppvärmning och el. effekten är 750 kW.

Nackdelarna med induktionsvärmning av en ståldegels sidoväggar är bl.a. de omfattande installationerna under golvytan som erfordras samt att vid ett eventuellt avbrott på någon av induktionsspolarna blir hela degeln utan uppvärmning. En annan stor nackdel är kylbehovet för spolarna, temperaturen för dessa får ej överstiga 80°C [Briand 1982], vilket kan vara svårt att uppnå. Alternativet med induktiv uppvärmning av ståldegel är på grund av dessa nackdelar därför inget alternativ för den nya anläggningen vid Gävle Galvan.

Det går även att induktionsvärma zinksmältan i en keramisk degel, vilket ger många fördelar jämfört med elektrisk ytvärmning. Härvid förses degeln med en kanal som leder in den smälta zinken i en separat induktionsspole, induktor, se fig. 6. Zinken måste då tillföras degeln i smält form eller så måste zinktackorna smältas med särskilda brännare. På grund av praktiska problem med induktorkylning samt den höga investeringskostnaden användes denna teknik dock ej för stora anläggningar och är därmed ej aktuell för Gävle Galvan AB.

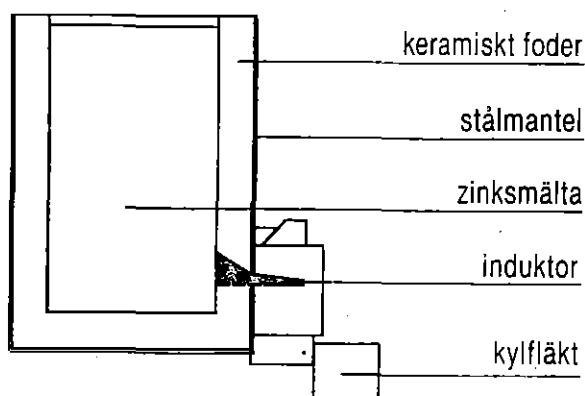


Fig.6 Induktionsvärmad keramisk degel.

3.2.4 Elektriska doppvärmare

Både keramiska deglar och ståldeglar går att förse med elektriska doppvärmare. Dessa består av motståndselement av sintrad kiselkarbid inneslutna i skyddsrör, även dessa av kiselkarbid. Fig.7 visar en doppvärmare i genomskärning och fig.8 en typisk installation i en keramisk degel. Motståndselementen kan matas med nätspänning.

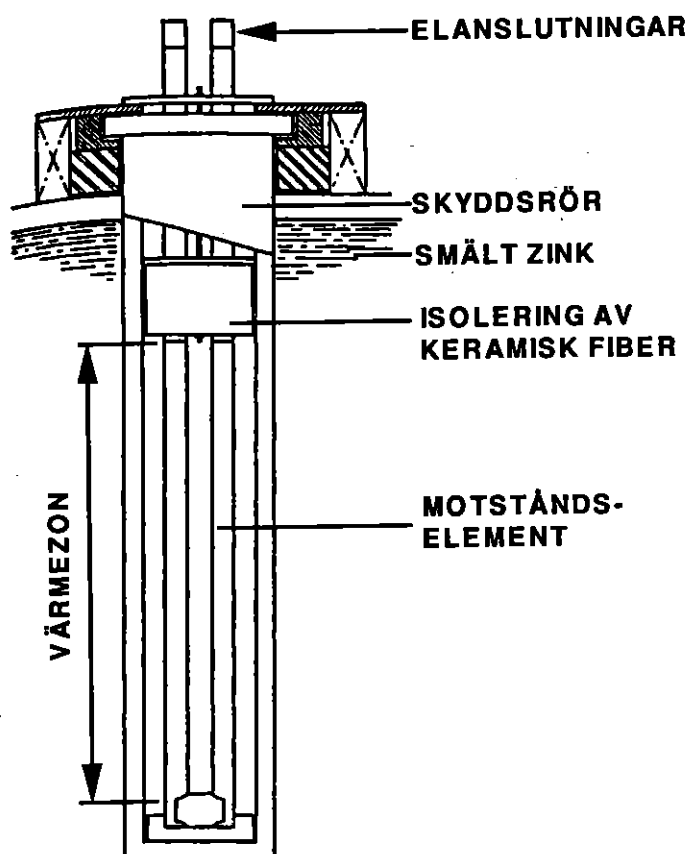


Fig.7 Elektrisk doppvärmare för metallbad i genomskäring [Roebuck 1985]

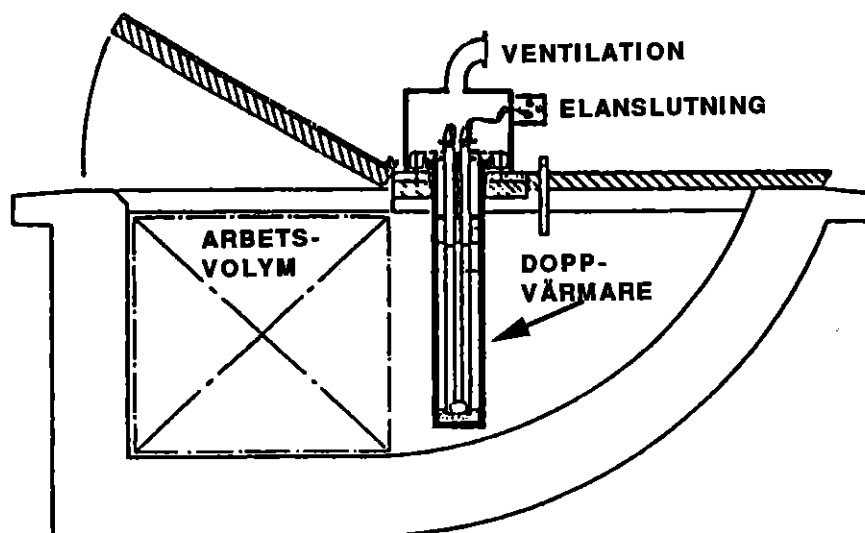


Fig.8 Elektrisk doppvärmare monterad i keramisk degel [Roebuck 1985]

Skyddsrör av nitridbunden kiselkarbid har en livslängd av c:a 1 - 4 år medan skyddsrör av den betydligt prisbilligare kolbundna kiselkarbiden har en livslängd av endast 4 - 6 månader [Roebuck 1985]. Dessa uppgifter gäller för doppvärmare av fabrikat Kanthal. Det går även att använda skyddsrör av metall. Om även zinksmältning utföres med doppvärmarna är risken stor för att skador uppstår på skyddsrören. Helst bör separata gasbrännare användas vid smältningen.

Ett typiskt användningsområde för elektriska doppvärmare är vid konvertering av befintliga ugnar med keramisk degel och ytvärmning varvid följande förbättringar har kunnat konstateras:

- Ökad produktion
- Lägre energiförbrukning
- Bättre temperaturreglering

Dessa fördelar uppnås även vid konvertering till gaseldade immersionsbrännare.

3.2.5 Konventionell gaseldning

Vid installationer med *direkt sidoeldning* (mycket vanlig i bl.a. västra Tyskland och USA) är ett antal gasbrännare monterade under golvytan och riktade mot långsidorna på en ståldegel så att lågorna direkt träffar dennas långsidor. Exempel på utformning av brännarinstallationer framgår av figurerna 9 och 10.

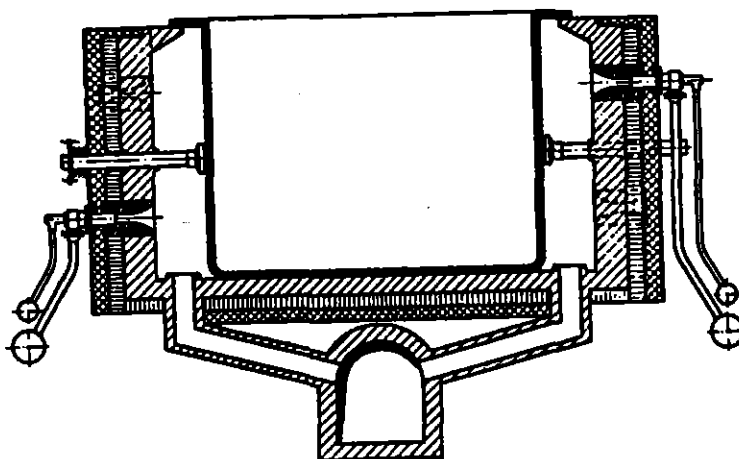


Fig.9 Genomskärning av zinkugn med direkt sidoeldning mot ståldegel. [Klammer 1972]

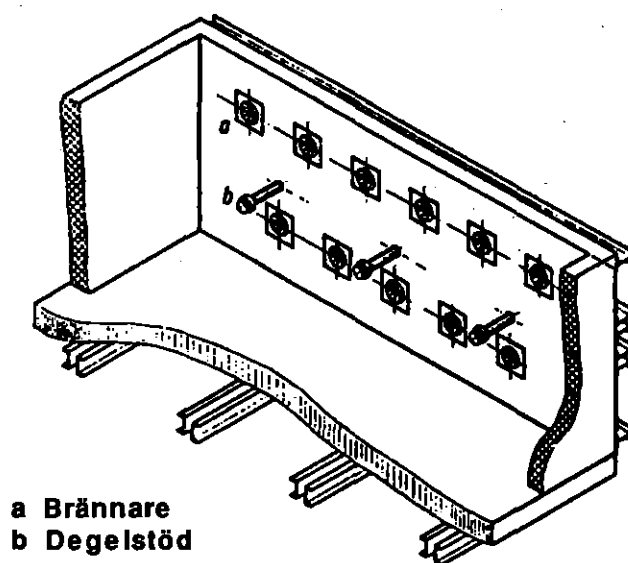


Fig.10 Exempel på placering av gasbrännare vid direkt sidoeldning. [Klammer 1972]

Gaseldade zinkugnar med *indirekt uppvärmning* kännetecknas av att värmeavgivningen sker när avgaserna från gasbrännarna passerar ståldegelnas sidor. Figur 11 visar ett exempel där ett antal gasbrännare är monterade vid ugnens långsidor och fig.12 tillhörande brännarinstallationer.

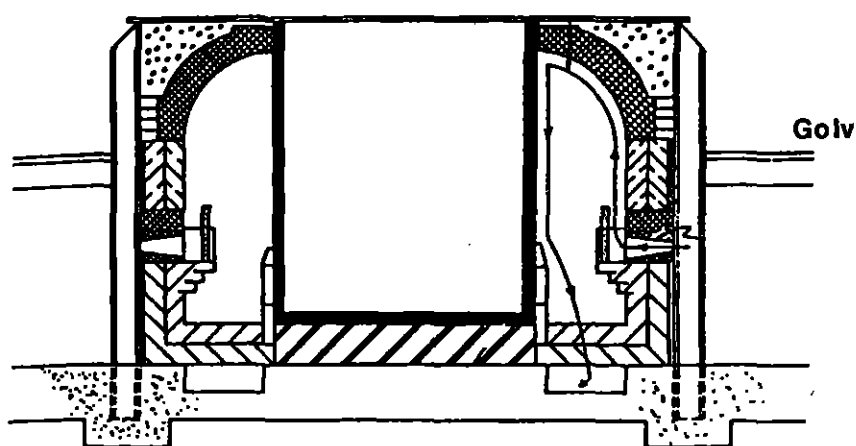


Fig.11 Genomskärning av zinkugn med indirekt eldning mot ståldegel. [Stapleton 1985]

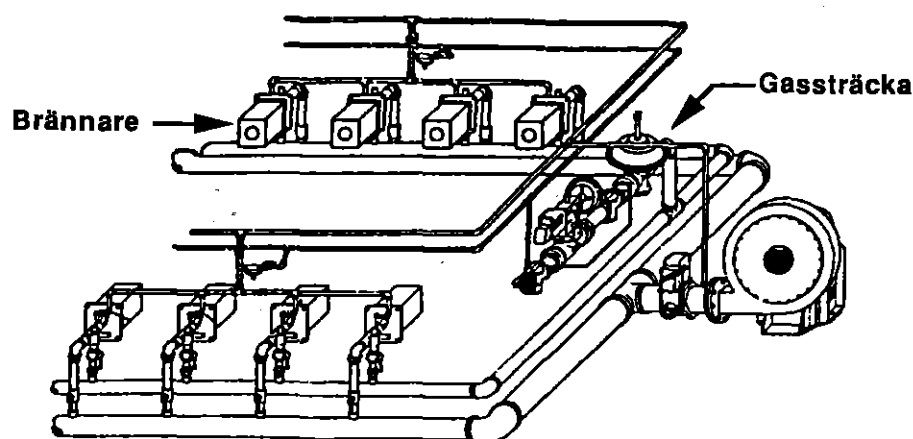


Fig.12 Exempel på placering av gasbrännare vid indirekt sidoeldning. [Stapleton 1985]

Nackdelarna med dessa tekniker är bl.a. mycket låg verkningsgrad, typiskt 30% eller lägre [Cook 1986], omfattande brännarinstallationer under golvytan samt en bred kant runt zinkbadet. För installationer med direkteldning tillkommer nackdelarna med risk för ökad hårdzinkproduktion samt att degelns livslängd minskar eftersom den lokalt kan utsättas för höga temperaturer. Genom att i stället elda mot plåtar vars strålningsvärme överföres till degeln, i princip indirekt sidoeldning kan dock livslängden ökas till priset av något sänkt verkningsgrad. [Westerlund 1991]

Zinkugnar med konventionell gaseldning är således inget alternativ för den nya zinkugnen vid Gävle Galvan AB.

3.2.6 Gaseldning med modern gasteknisk utrustning

Uppgifter avseende två olika moderna tekniker har inhämtats: *indirekt sidoeldning med höghastighetsbrännare* samt *brännarutrustning bestående av gaseldade immersionsbrännare*. Dessa tekniker är huvudalternativen för gaseldning vid den nya zinkugnen vid Gävle Galvan och behandlas därför separat i avsnitten 4.3 och 4.4.

3.3 Energiförbrukning

Varmförzinkning är en tämligen energikrävande process och energin förbrukas till följande:

- Strålningsförluster från zinkbadets yta samt från ugnens väggar, botten och ev. brätten om degeln är försedd med sådana.
- Uppvärmning av godset från ungefär lokalens temperatur till zinkbadets temperatur.
- Smältning av zink
- Vid gaseldning tillkommer dessutom avgasförluster och vid elvärmning smärre värmeförluster

Strålningsförlusterna är så omfattande att de ofta står för över hälften av hela energibehovet för produktionen, se fig. 13 och 14. Under produktionstid smältes normalt ingen zink.

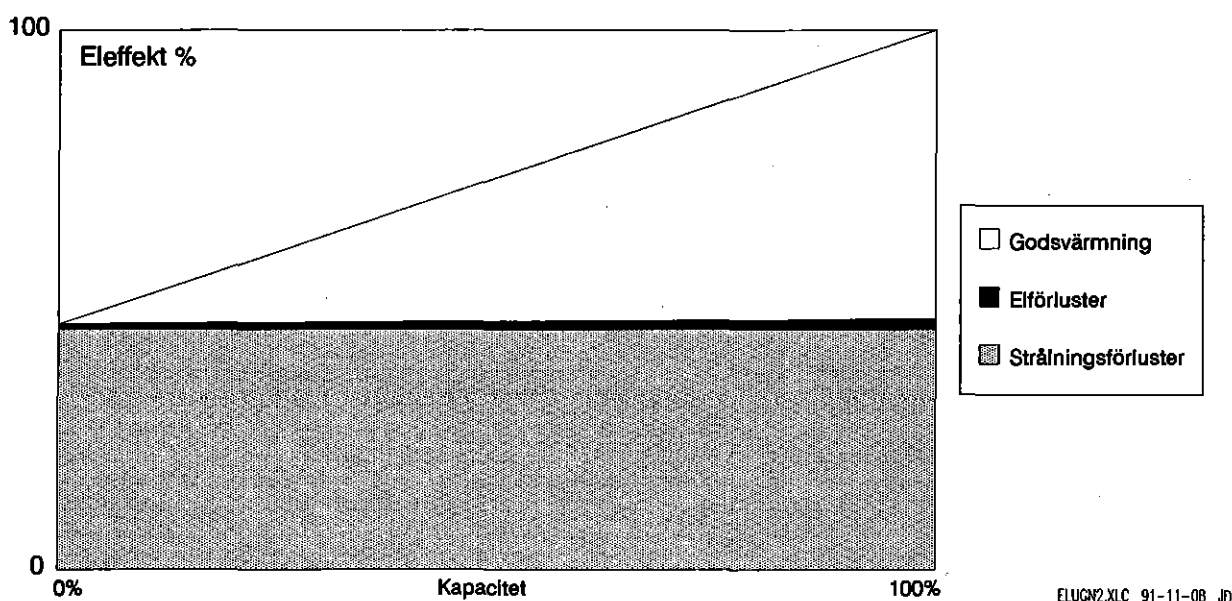


Fig.13 Exempel på sambandet mellan effektbehov och kapacitet för elvärmad zinkugn.

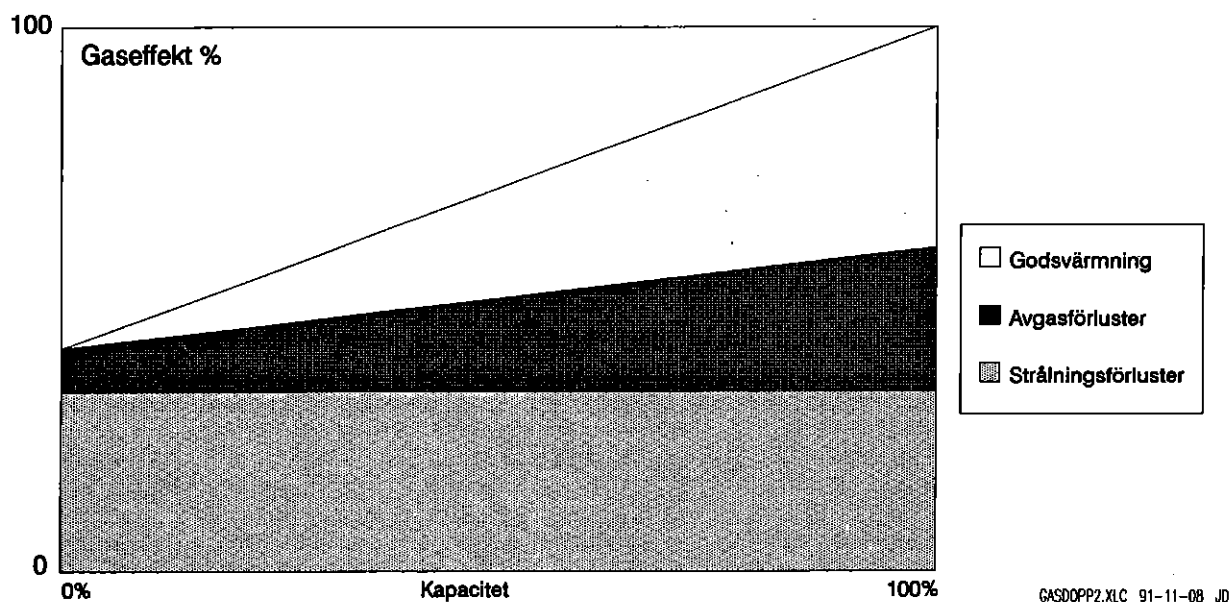


Fig.14 Exempel på sambandet mellan effektbehov och kapacitet vid gaseldad zinkugn.

Den största förlusten under produktionstid utgöres av strålningsvärme från badytan som utgör c:a 85% av den totala strålningsförlusten. Det är därför mycket viktigt att täcka badytan under icke produktionstid varvid en reducering med c:a 70% av de totala strålningsförlusterna som regel erhålles.

Av figurena 13 och 14 kan man utläsa att energiförbrukningen per ton förzinkat gods minskar vid ökande produktion. Detta samband framgår tydligare av fig.15:

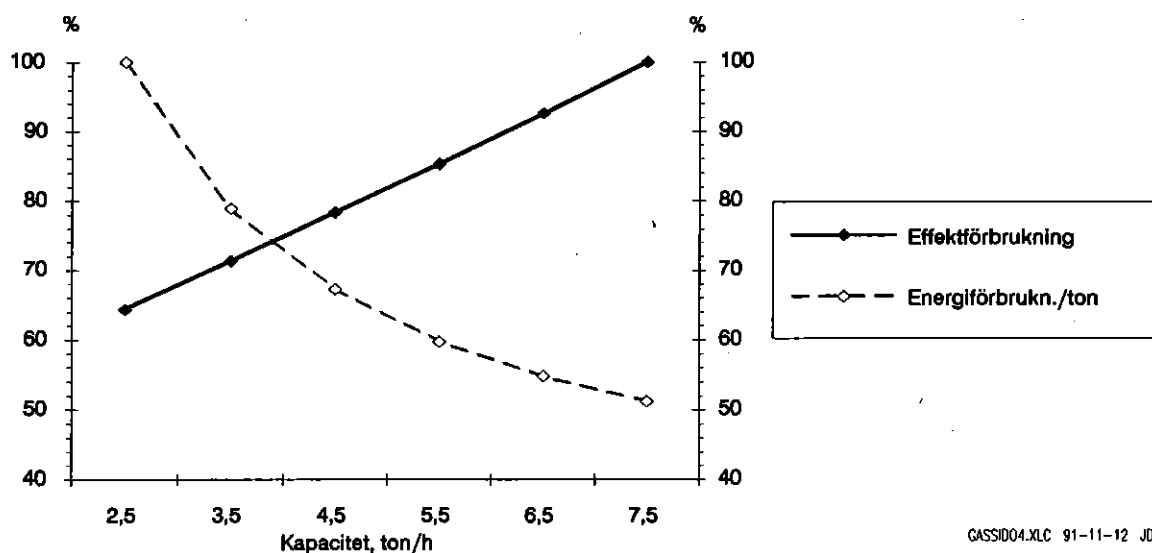


Fig.15 Exempel på sambandet mellan kapacitet, effektförbrukning och energiförbrukning per ton gods

I diagrammet är energiförbrukningen per ton gods satt till 100% vid kapaciteten 2,5 ton gods per timme och 100% effektförbrukning vid max kapaciteten 7,5 ton/h. Detaljerade effekt- och kostnadsanalyser för den nya anläggningens olika alternativ framgår av avsnitt 5.

3.4 Zinkbadets temperatur och temperaturreglering

En viktig parameter att ta hänsyn till vid bestämning av badets temperatur är, förutom zinkens smältpunkt 419°C , zinkens förmåga att legera sig med järn varvid hårdzink produceras. Förutom att förbruka zink orsakar hårdzinkproduktionen järnförluster från det gods som förzinkas och från ståldegeln. Järnförluster från godset saknar i sig betydelse men orsakar den större delen av hårdzinkproduktionen medan däremot järnförluster från ståldegeln bestämmer degelns livslängd. Fig.16 visar förhållandet mellan zinkbadets temperatur och järnförlust för rent järn. Diagrammet kan dock användas även för låglegerade kolstål.

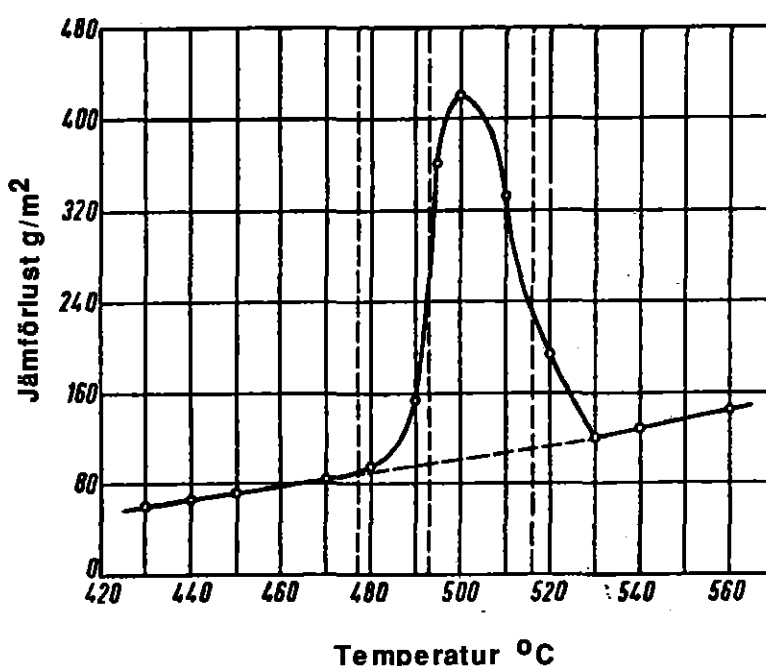


Fig.16 Järnförlust från en provkropp av rent järn efter nedsänkning i zink under 1 timme.
[Klammer 1972]

Av diagrammet framgår att järnförlusten och därmed hårdzinkproduktionen ökar relativt långsamt och linjärt med temperaturen under 480°C och över 530°C och det är även dessa temperaturintervall som praktiskt används för varmförzinkning. I praktiken används dock det högre intervallet, och då vanligen 550°C , endast för små bad. Keramisk degel måste användas i dessa fall.

Större anläggningar använder alltid det lägre temperaturintervallet, bland annat på grund av följande:

- Ofta förzinkas svetsade konstruktioner och dessa får ej utsättas för de höga temperaturer som förekommer i det högre intervallet.
- Relativt små järnförluster innebär att ståldegel kan användas med rimlig livslängd samt att hårdzinkproduktionen blir måttlig.

- Lägre strålningsförluster och därmed högre verkningsgrader

Vid nedsänkning av gods i zinkbadet tages värmen för godsuppvärmningen från den smälta zinken. Badets temperatur måste därför med god marginal överstiga zinkens smältpunkt men samtidigt ej vara så hög att hårdzinkproduktionen blir oacceptabel. Förutom temperaturen beror hårdzinkproduktionen på vilka legeringsämnen som ingår i stålet. De lägsta temperaturen där hårdzinproduktionen blir oacceptabelt hög erhålles vid förzinkning av kiseltätade stål. Av fig.17 framgår sambandet mellan järnförlust och temperatur för stål med olika kiselhalter.

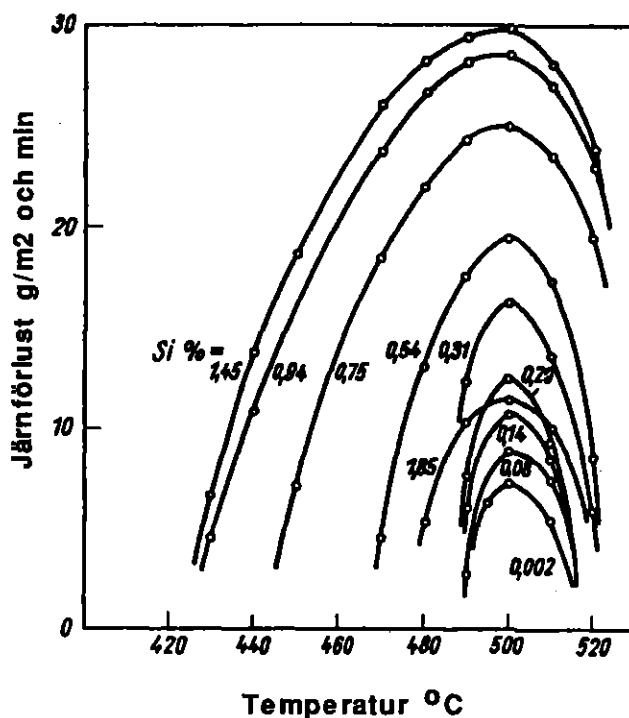


Fig.17 Järnförlust från kiseltätade stål [Mass 1970]

Maximalt användbar badtemperatur blir således c:a 480°C för låglegerade kolstål och c:a 425 - 480°C för kiseltätade stål. I praktiken väljer man ofta ett börvärde mellan 445 och 465°C [Peissker 1982] och får då acceptera en förhöjd hårdzinkproduktion för kiseltätade stål med en kiselhalt > 0,5%.

Det är av största vikt för anläggningens lönsamhet att zinkbadets temperatur kan konstant hållas så att *de maximala temperaturvariationerna aldrig överstiger 10°C*, inklusive den interna temperaturfördelningen, annars ökar risken påtagligt för att ståldegelns livslängd kraftigt förkortas pga sprickbildning eller järnförlust.

Det finns exempel på anläggningar där degeln varit tvungen att bytas redan efter 1 å 2 år och i extremfall efter endast 6 månaders drift [Peissker 1982].

Med rätt vald temperaturreglerutrustning, tyrisorstyrning vid eldrift alternativt rätt utförd och intrimmad kvotreglering vid gasdrift, kan *reglernoggrannheter på $\pm 3^\circ\text{C}$ eller bättre*

uppnås vilket är en grundförutsättning för att kunna uppnå en temperaturvariation inklusive temperaturfördelning av 10°C eller lägre. Det är givetvis en fördel om badet kan indelas i olika sektioner där varje sektion har en egen temperaturgivare som styr värmeförseln till den egna sektionen varvid möjligheten till en likformig temperaturfördelning ökar.

3.5 Ståldegelns livslängd

En stor underhållskostnad är byte av ståldegel varför det är av stort intresse att teoretiskt kunna bestämma dess livslängd. En ny ståldegel har vägg tjockleken 50mm och om den är väl stöttad skall den kunna användas tills dess vägg tjockleken minskat till 30mm på det mest utsatta stället.

Järnförluster, erfarenhetsvärden [Hansen 1991]

Påverkan av smält zink mot degelvägg	1,2 mm/år
Produktionspåverkan vid sidovärmning	1 mm/år vid 200 årston/m ² uppvärmd yta
Produktionspåverkan vid doppvärmning	Hälften av värdet för sidovärmning

Beräkningsexempel för elektriskt sidovärmd ugn med följande data:

Långsidor 13 m och elementhöjd 2 m ger en uppvärmd yta av $2 \times 13 \times 2 = 52 \text{ m}^2$

Produktion 15 000 årston ger då $15\,000 / 52 = 288 \text{ årston/m}^2$; $288 / 200 \times 1 = 1,44$ säg 1,5 mm/år

Total järnförlust $1,2 + 1,5 = 2,7 \text{ mm/år}$ LIVSLÄNGD $20/2,7 = 7,4 \text{ år}$

Som jämförelse kan nämnas att noggranna uppmätningar har utförts av en direkt sidoeldad ståldegel med dimensionerna $l \times b \times dj = 20 \times 2 \times 2,2 \text{ m}$ och med den maximala kapaciteten 14 ton/h. Efter 5,3 års drift hade vägg tjockleken minskat med 13 mm på det mest utsatta stället. Detta motsvarar c:a 2,5 mm/år.

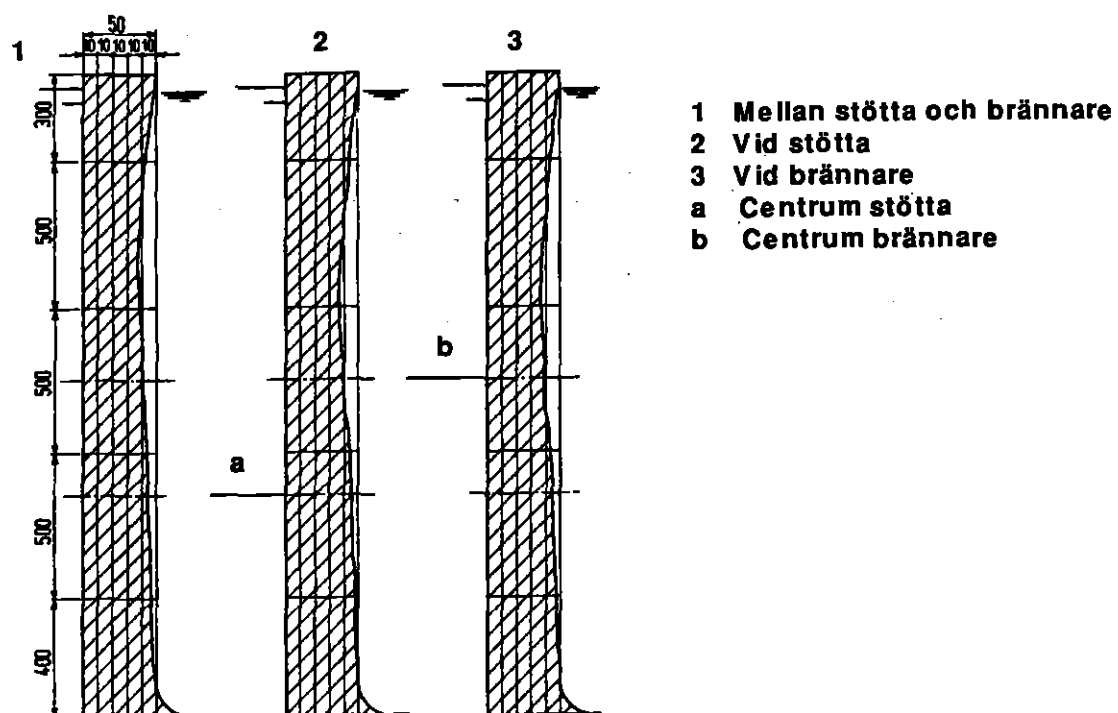


Fig.18 En ståldegels väggfjocklek efter 5,3 års drift. Degelns dimensioner $l \times b \times dj = 20 \times 2 \times 2,2$ m. [Junker 1982]

4. NY ANLÄGGNING, TEKNISK BESKRIVNING

4.1 Förutsättningar

Den nya varmförzinkningsanläggningen som skall byggas vid Gävle Galvan AB får följande huvuddata:

- Kapacitet 15 000 årston gods vilket motsvarar en timmedelkapacitet av c:a 4,5 ton/h
- Max. timmedelkapacitet 7,5 ton/h (25 200 årston)
- Ståldegel skall användas
- Zinkbadets fria arbetsyta: längd 13m, bredd 2m
- Degelns invändiga djup: 3m
- Zinkbadets temperatur: 460 °C

Följande tre alternativa uppvärmningsprinciper skall kostnadsberäknas:

- Elektrisk motståndsvärmning
- Gaseldade höghastighetsbrännare
- Gaseldade immersionsbrännare

Underlagen för alternativen utgöres av offerter från tre olika leverantörer: VZ Mora AB (elvärme), C.H.Evensen Industriovner AB (höghastighetsbrännare) och El & Gasteknik AB (immersionsbrännare).

4.2 Elvärme

Uppvärmningsanordningen består av totalt 12st motståndskassetter där varje kassett innehåller ett antal motståndselement. Motståndskassetterna skräddarsys för varje anläggning och ett exempel på utformning framgår av fig.19. Kassetterna är monterade nära ståldegelns långsidor som överför värmen till zinksmältan.

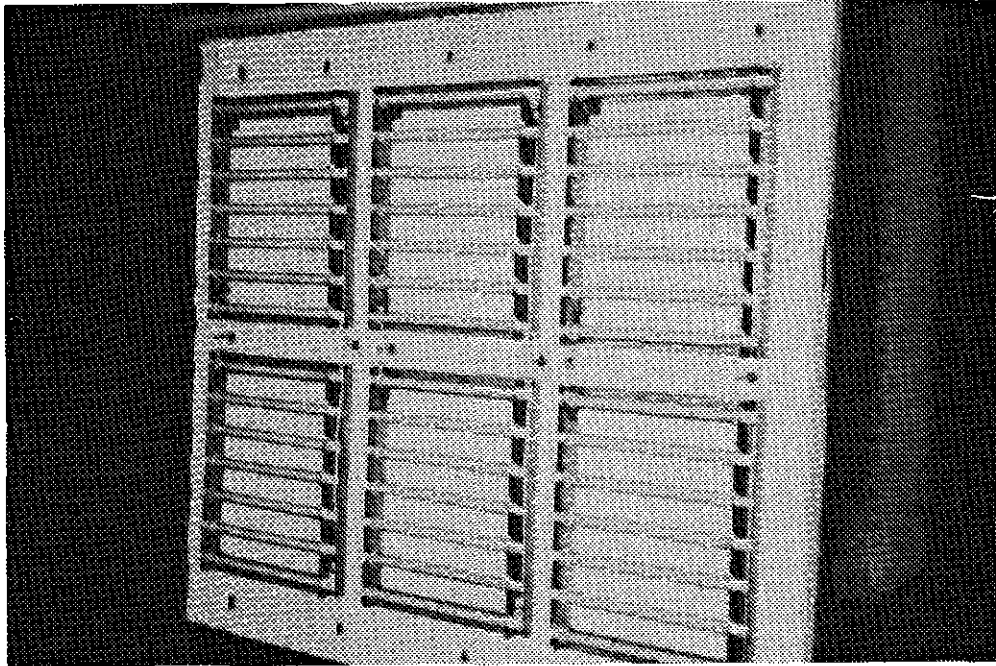


Fig.19 Kassett med 42st motståndselement [VZ Mora AB]

Motståndskassetterna matas direkt med nätspanningen via ställverk som för denna anläggning utgöres av 2st dubbelskåp. En fördel är att avbrott i enskilda motståndselement ej stoppar produktionen eftersom endast den kassett som skall repareras behöver göras strömlös.

Temperaturregleringen är steglöst tyristorstyrd vilket ger hög reglernoggrannhet. Temperaturgivare är monterade på den ena gavelns utsida.

Ugnens principutformning framgår av fig.20.

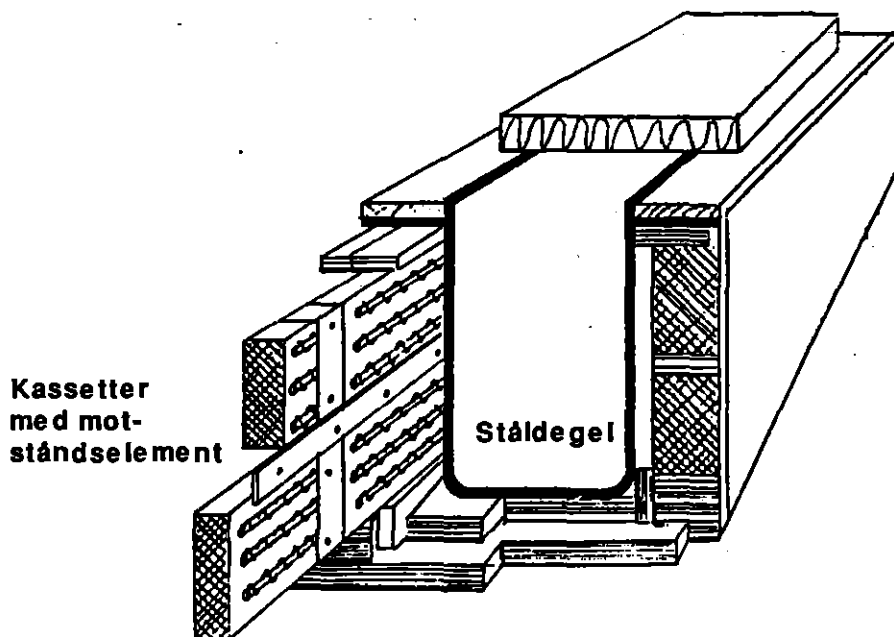


Fig.20 Principutförande av med motståndselement elvärmad zinkugn med ståldegel
[VZ Mora AB]

TEKNISKA HUVUDDATA för elvärmad zinkugn		
Ugnens ytermått:	$l \times b \times dj = 13,7 \times 2,7 \times 3,15\text{m}$	
Ståldegelns teor. livslängd	c:a 7,4 år, se avsnitt 3.5	
Erforderligt golvurtag	$l \times b \times dj = 14,9 \times 3,3 \times 2,35\text{m} = 116\text{m}^3$	Anm.1
Vikter:	Totalt 560 ton	Anm.2
Ställverksdimensioner	2st, vardera $b \times h \times dj = 1400 \times 2000 \times 600\text{mm}$	
Automatikkåp	$b \times h \times dj = 500 \times 500 \times 300\text{mm}$	
Eleffekt	969kW	Anm.3
Strömförbrukning	1472 A	Anm.4
Reglernoggrannhet	$\pm 1^\circ\text{C}$ vid jämn produktion	Anm.5

Anm.1) 600mm fritt utrymme runt ugnen, 800mm kanthöjd över golvnivå

Anm.2) Zink 503 ton (76 m^3) vid en nivå 70mm under degelkant. Ugnens vikt har antagits till 5 ton. Degelns vikt är 52 ton.

Anm.3) Teoretiskt effektbehov vid 7,5 t/h är 969kW, se bilaga 5 avsnitt 6. I offert är den installerade effekten angiven till c:a 900 kW.

Anm.4) Beräkning av strömförbrukning avser effekten 969 kW vid $3 \times 380\text{V}$ och $\cos \phi = 1$ d.v.s. resistiv last

Anm.5) Vid ojämn produktion, t.ex. 1 ton i en timme och 7 ton nästa timme kan noggrannheten minska till ± 3 å $\pm 4^\circ\text{C}$.

4.3 Gaseldade höghastighetsbrännare

Uppvärmningsprincipen med höghastighetsbrännare är en moderniserad form av indirekt sidoeldning som presenterades i avsnitt 3.2.5, fig. 11. I detta fall användes dock endast 4 st gasbrännare som är parvis monterade på ugnens kortsidor och avgaserna cirkuleras runt ståldegeln med 2 st cirkulationsfläktar, se bilaga 1. Avgascirkulationen medför en god värmeöverföring till ståldegeln och god verkningsgrad kan erhållas. Denna ugnstyp kan även utföras för kombinerad el- och gasdrift.

Gas/lufttillförseln till brännarna kvotregleras vilket innebär att varje brännare alltid erhåller ett konstant blandningsförhållande mellan gas och luft oavsett effekt. Se bilaga 2 flödesschema. Varje par av brännare har bl.a. en gemensam förbränningsluftsfläkt (pos.10) och en gastrycksregulator (pos.11) för reducering av inkommande gastryck. Gastrycket till de båda pilotventilerna (pos. 12) för tändning av huvudbrännarna har en egen tryckregulator (pos.14).

Temperaturregulatorn (pos.19) påverkar luftspjället (pos.17) som är gemensamt för båda brännarna. När reglersystemet kallar på mer värme och luftspjället därmed öppnar ytterligare, stiger lufttrycket mellan spjäll och brännare. Lufttrycksändringen påverkar då liktrycksregulatorn (pos.3) som även den öppnar ytterligare varvid gasmängden ökar tills dess att blandningsförhållandet gas/luft är återställt, nu med en högre effekt.

TEKNISKA HUVUDDATA för zinkugn med gaseldade höghastighetsbrännare		
Ugnens yttermått:	l x b x dj = 14,4 x 3,45 x 3,2 m	
Ståldegeln teor. livslängd	c:a 9,5 år	
Erforderligt golvvurtag	l x b x dj = 17,4 x 4,65 x 2,4 = 194 m ³	Anm.1
Vikt:	Totalt 563 ton	Anm.2
Automatikskåp	1 st	Anm.3
Installerad gaseffekt	1392kW (enligt offert)	
Erforderlig el.effekt	Fläktar 19kW	Anm.4
Reglernoggrannhet	±2,5°C vid jämn produktion	Anm.5

- Anm.1) 600mm fritt utrymme vid långsidor, 1500mm fritt utrymme vid kortsidor, 800mm kanthöjd över golvnivå
- Anm.2) Zink 503 ton (76 m³) vid en nivå 70mm under degelkant. Ugnens vikt har antagits till 10 ton. Degeln vikt är 50 ton
- Anm.3) Dimensioner är ej fastställda
- Anm.4) Erforderlig eleffekt för brännarautomatik anses vara försumbar
- Anm.5) Inga uppgifter föreligger avseende reglernoggrannhet vid varierande produktion

4.4 Gasdrivna immersionsbrännare

Immersionsbrännare kännetecknas av att de är nedsänkta i det medium som skall värmas eller varmhållas så att en mycket god värmeöverföring erhålles. Den typ av immersionsbrännare som ingår i detta alternativ är försedd med rekuperator som förvärmer förbränningsluften vilket tillsammans med den goda värmeöverföringen innebär att verkningsgraden blir mycket hög. Vid konvertering från konventionell gaseldning till uppvärmning med immersionsbrännare kan energibesparingar av storleksordningen 25 - 40% uppnås, dessutom ökar kapaciteten för en ugn med givna dimensioner. [Burns 1991]

Brännarens utförande framgår av fig.21.

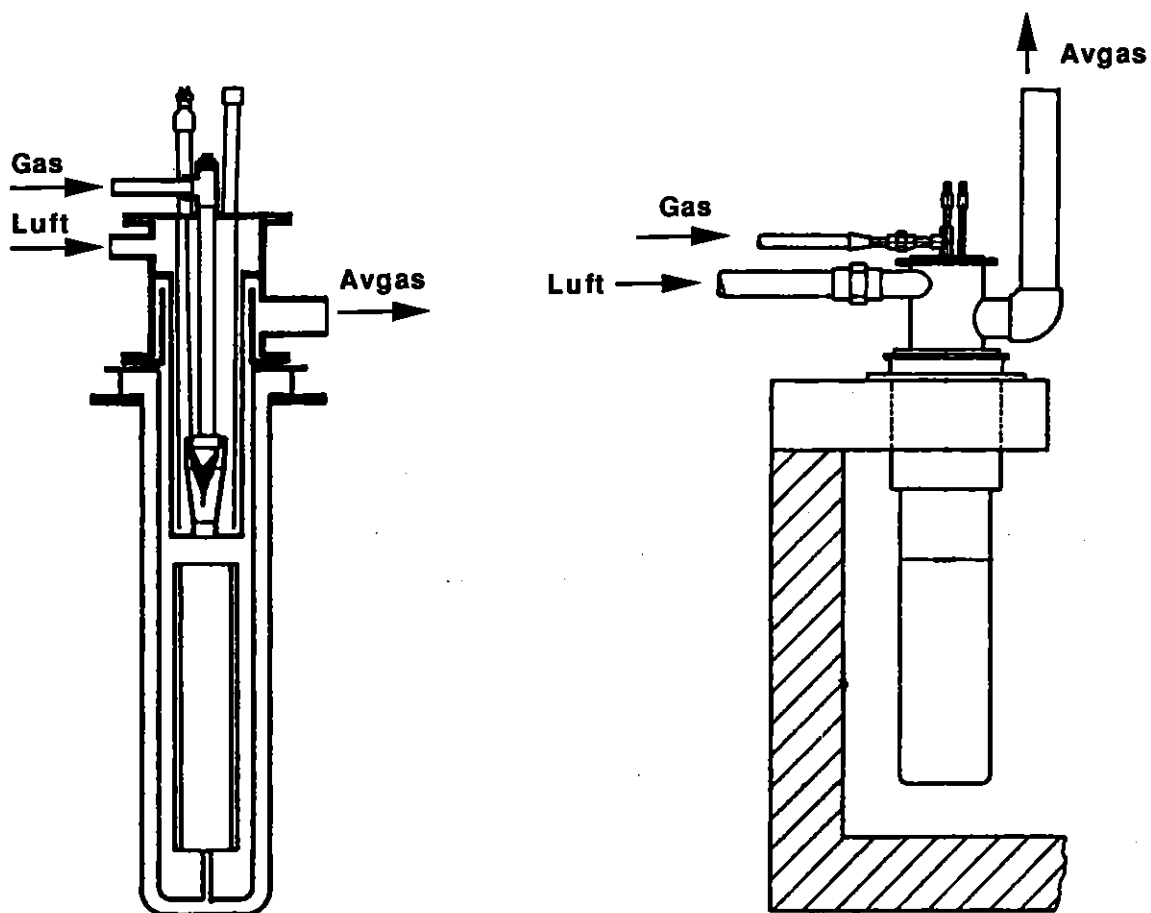


Fig.21 Immersionsbrännare av fabrikat Burns. Varje brännare har en max. tillförd gas-effekt av 60kW. [Burns 1991]

Brännarhuvudet är tillverkat i stål med munstycke och interna hetgaskanaler i värmebeständigt stål. Immersionstuberna är tillverkade av kiselkarbid. För att få rätt cirkulation av hetgaser är immersionstuben försedd med en intern recirkulationstub och ledskenor av kiselkarbid.

Totalt ingår 30st immersionsbrännare fördelade på 5 zoner med 6 brännare i varje zon. Varje zon har separat temperaturkontroll och varje brännare separat eldningsautomat. Enskilda brännare kan stängas av separat utan att detta inverkar på den övriga driften. Automatikutrustningen är uppbyggd så att om det blir strömavbrott så stängs brännarna av och går till säkert läge. Brännarna direktstartas varför pilotbrännare ej erfordras. Vid uppstartning eller längre stillestånd då smältning av zink erfordras, utförs detta med öppna gaslågor genom att immersionsrören demonteras.

Varje brännare i respektive zon förses med gas och luft från ett gemensamt armaturskåp, således ingår totalt 6st armaturskåp. Till varje armaturskåp levereras ett automatikskåp med utrustning för temperaturkontroll, eldningsautomater och kontrollutrustning,

Ugnens dimensioner och principutförande framgår av bilaga 3 och 4 och dess yttermått l x b blir c:a 13,3 x 2,8m. Observera att utrymme för 6st armaturskåp och 6st automatikskåp tillkommer. Dimensionerna för skåpen framgår av tekniska huvuddata. Armaturskåpen skall helst ställas upp vid ugnens brännarsida, max avstånd mellan skåp och brännare är 4 meter. Placeringen av automatikskåpen är dock okritisk.

Gas/lufttillförseln till brännarna är, liksom för alternativet med höghastighetsbrännarna, kvotreglerade. Utförandet är dock annorlunda, se fig.22.

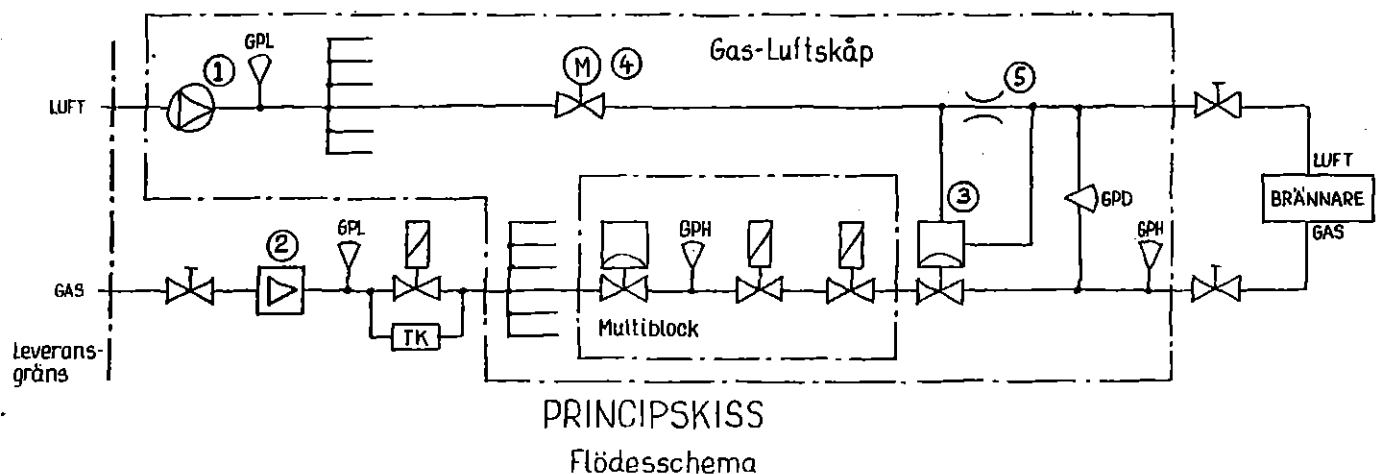


Fig.22 Principflödesschema för gas/lufttillförsel till immersionsbrännare [Andersson 1991]

Varje brännargrupp (zon) har en gemensam förbränningsluftsfläkt (pos.1) och gastrycksregulator (pos.2) för reducering av inkommande gastryck. Varje brännare har sitt eget multiblock, liktrycksregulator (pos.3), tryckvakter och avstängningsventiler. Temperaturgivaren i zinkbadet varierar förbränningsluftflödet genom att via en temperaturregulator styra motorventilen (pos.4). Flödesvariationerna orsakar varierande differenstryck över strypningen (pos.5) som i sin tur påverkar liktrycksregulatorn (pos.3) så att kvoten gas/luft hålls konstant vid olika effekter. Effektregeringen är således flödesstyrd vilket ger en noggrannare reglering än tryckstyrning.

TEKNISKA HUVUDDATA för zinkugn med gaseldade immersionsbrännare		
Ugnens yttermått:	$l \times b \times dj = 13,3 \times 2,8 \times 3,2 \text{ m}$	
Erforderlig golvyta	$l \times b = 13,3 \times c:a 6 \text{ m}$ inkl. armaturskåp	
Ståldegelns teor. livslängd	c:a 11,5 år	Anm.1
Erforderligt golvurtag	$l \times b \times dj = c:a 13,5 \times 3,0 \times 2,4 = 97 \text{ m}^3$	Anm. 2
Vikter	Totalt 683 ton	Anm. 3
Armaturskåp	6st $b \times l \times h = 1200 \times 1500 \times 975 \text{ mm}$	
Automatikskåp	6st $b \times dj \times h = c:a 900 \times c:a 350 \times c:a 1200 \text{ mm}$	
Gaseffekt	Installerat 1780 kW; Erforderl. 1282 kW vid 7,5 t/h	Anm. 4
Erforderlig el. effekt	Förbränningsluftfläktar c:a 20 kW	Anm.5
Reglernoggrannhet	$\pm 2,5^\circ\text{C}$	

Anm.1) Produktionspåverkan 50% av påverkan för sidoeldad ugn orsakar 0,45 säg 0,5 mm/år totalt 1,7 mm/år, se även avsnitt 3,5

Anm.2) 100 mm fritt utrymme runt ugnen och 800 mm kanthöjd över golvnivå

Anm.3) Zink 626 ton (95 m³) vid en nivå 70mm under degelkant. Ugnens vikt har antagits till 4 ton. Degelns vikt är 53 ton

Anm.4) Att installerad effekt med god marginal överstiger effektbehovet medför följande fördelar:

- Hög verkningsgrad
- Snabb och noggrann temperaturreglering
- Möjlighet till produktion > 7,5 t/h

Anm.5) Erforderlig eleffekt för brännarautomatik anses försumbara

4.5 Sammanställning av tekniska data

STORHET	ELUGN	SIDOELDNING	IMMERSIONS.
Ytermått $l \times b \times dj$ [m]	$13,7 \times 2,7 \times 3,15$	$14,4 \times 3,45 \times 3,2$	$13,3 \times 2,8 \times 3,2$
Erforderlig golvyta [m]	$13,7 \times 2,7 \times 3,15$	$14,4 \times 3,45 \times 3,2$	$13,3 \times c:a 6$
Ståldegelns teor. livslängd	7,4 år	9,5 år	11,5 år
Golvurtagsvolym [m ³]	116	194	97
Vikter; zink - totalt [ton]	503 - 560	503 - 563	626 - 683
Installerad effekt [kW]	c:a 900	1392	1780
Erforderlig effekt [kW]	969	1393	1282
Fläktar, effekt [kW]	0	19	20
Gasförbr. vid 7,5 ton/h [Nm ³ /h]	0	221	203
Strömförbrukning vid 7,5 t/h [A]	1472	63	66

4.6 Erforderlig effekt

Beräkningarna inleds med framtagning av *parametrar* för strålningsvärme, energiförbrukning för godsuppvärmning och smältning av zink samt zinkförbrukning. Uppgifterna har erhållits vid litteraturstudier och vid samtal med leverantörer varvid det kunde konstateras överensstämmelsen var god mellan olika källor. För att begränsa beräkningarna till rimliga proportioner har genomgående antagits att den öppna zinkbadsytan i genomsnitt är till 50% täckt av zinkaska vid produktion samt att den täcks vid stillestånd. Vid beräkning av zinkförbrukningen per ton gods har vidare antagits att medelvärdet av godstjockleken är 5 mm och att zinklagrets tjocklek är i medeltal 120 μm vilket ger en zinkförbrukning på 47 kg per ton gods.

Följande parametrar har genomgående använts vid samtliga beräkningar:

PARAMETER		REFERENS
Strålningsvärme för öppen badyta med 50% zinkaska	14 kW/m ²	[May 1984]
Strålningsvärme för täckt badyta	3 kW/m ²	[Evensen 1991]
Strålningsvärme från brätte vid öppet bad	3 kW/m ²	[VZ Mora 1991]
Strålningsvärme från brätte vid täckt bad	1 kW/m ²	[VZ Mora 1991]
Strålningsvärme från isolerade ugnsväggar och botten	0,25 kW/m ²	[May 1984]
Energiförbrukning för uppvärmning av gods	69 kWh/ton	[Evensen 1991]
Energiförbrukning för uppvärmning och smältning av zink	85 kWh/ton	[Evensen 1991]
Zinkförbrukn. per ton gods, $t=5\text{mm} \Rightarrow 55\text{m}^2/\text{ton}$, zinklager 120 μm	47 kg/ton	Beräknat värde
Gasolens UNDER värmevärde	12,8 kWh/kg	Tabellvärde
Gasvolym vid 0°C och 101 kPa per kilo vätska gasol	0,493 Nm ³	Tabellvärde

För att kunna beräkna *strålningsförlusterna* har först *strålningsytorna* beräknats med hjälp av måttuppgifter från de olika leverantörerna inklusive de i bilagorna 1 och 4 angivna dimensionerna.

Med hjälp av ovanstående uppgifter är beräkning av *erforderlig tillförd värmeeffekt och zinkförbrukning* utförd.

För att kunna beräkna *erforderlig el- respektive gaseffekt* måste verkningsgraderna för de olika alternativen fastställas. Verkningsgraden definieras på följande sätt:

$$\frac{\text{Energi som tillförs degeln}}{\text{Förbrukad el- respektive gasenergi}}$$

Verkningsgraden för den elvärmda ugnen har i samråd med tillverkaren uppskattades till 98%.

Verkningsgraden för ugnen med immersionsbrännare beräknades med hjälp av tillverkarens verkningsgradskurvor [Burns 1991]. Dessa fick dock omräknas från värden för naturgas vid det övre värmevärdet till gasol vid det undre värmevärdet [Andersson 1991] och varierar mellan 80,5% vid tomgång och 73,5% vid max kapacitet.

Verkningsgraden för ugnen med höghastighetsbrännare anges av tillverkaren till 65% vid den nominella kapaciteten 4,5 ton/h. Verkningsgrader för övriga kapaciteter är uppskattade varvid ändringen av verkningsgraden i förhållande till ändringen av kapaciteten har antagits variera på liknande sätt som för ugnen med immersionsbrännare.

Resultaten av effektberäkningarna redovisas i diagramform med figurerna 23 - 26.

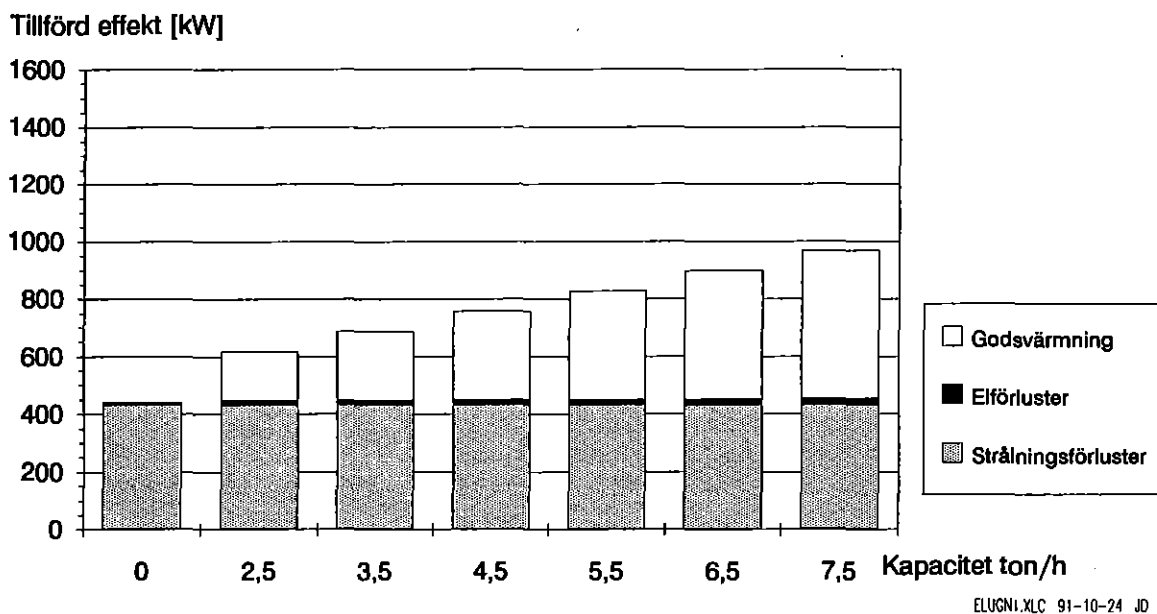


Fig.23 Elvärmd zinkugn, sambandet kapacitet - tillförd eleffekt vid produktion

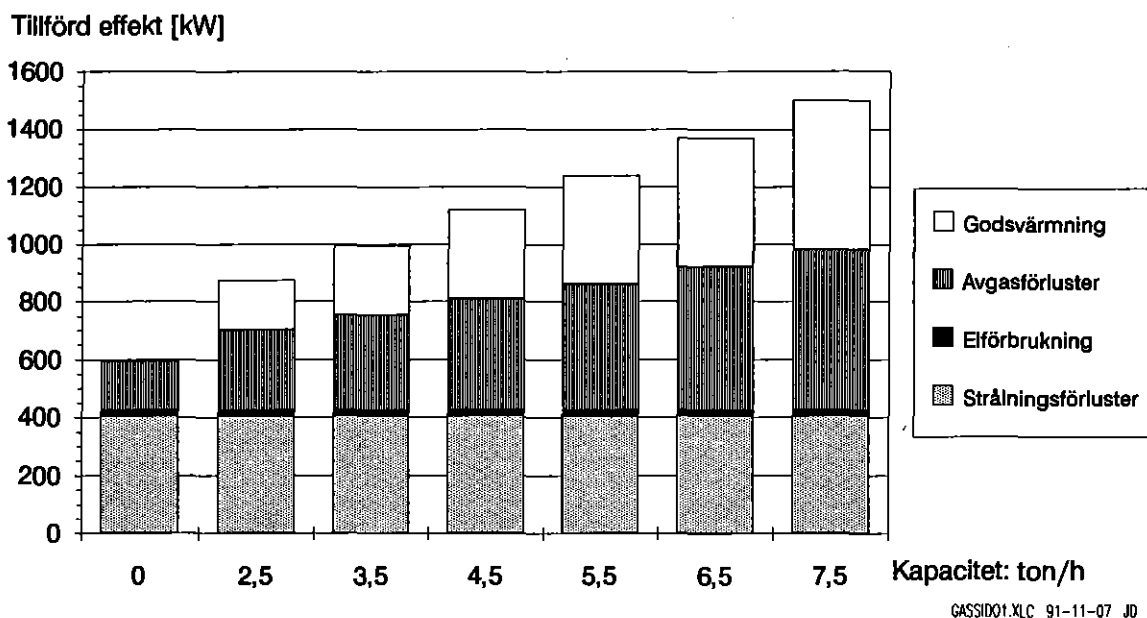


Fig.24 Zinkugn med höghastighetsbrännare, sambandet kapacitet - tillförd effekt vid produktion

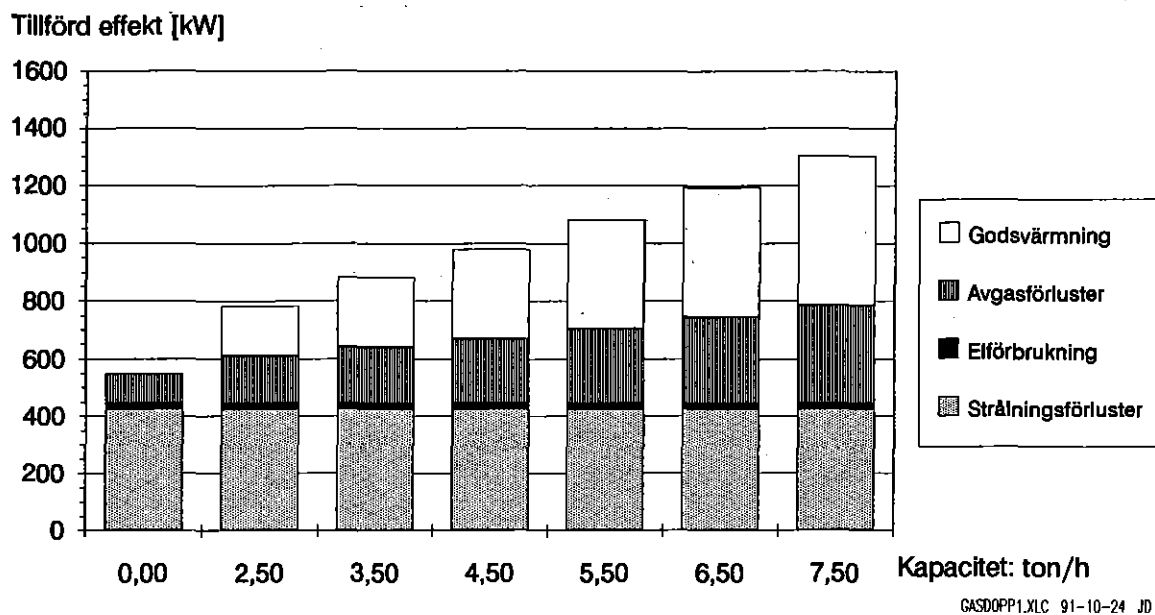


Fig.25 Zinkugn med gaseldade immersionsbrännare, sambandet kapacitet -
- tillförd effekt vid produktion

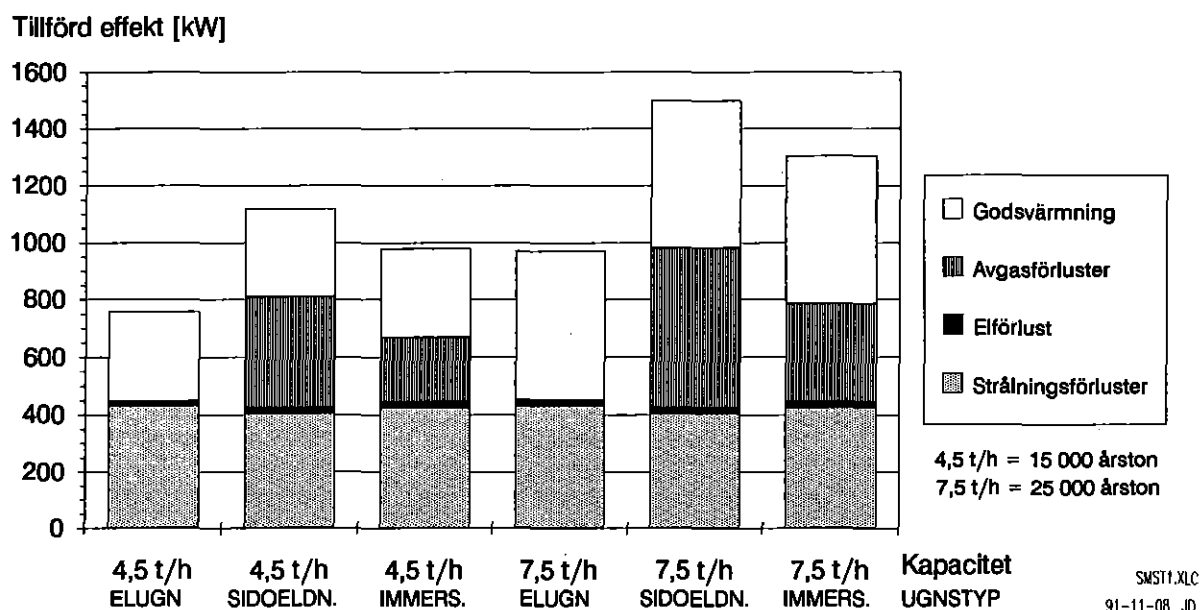


Fig.26 Jämförelse mellan tillförd effekt för de olika alternativa zinkugnarna vid två olika
kapaciteter vid produktion

5. NY ANLÄGGNING, KOSTNADER

5.1 Investering och kapitalkostnader

I samråd med Gävle Galvan AB beslutades att investeringskalkylen skall utföras enligt annuitetsmetoden varvid följande parametrar skall användas:

- *Kalkylränta* 5 %
- *Avskrivningstid* 10 år

Investeringen är summan av priset för följande anläggningsdelar och installationer:

- *Ugn med ståldegel*: Priser enligt offerter för alternativen elvärmd ugn och ugn med höghastighetsbrännare. Ugn med immersionsbrännare var offererad med keramisk degel varför kostnaden beräknades med uppgifter avseende den elvärmda ugnen.
- *Uppvärmningsutrustning, dvs motståndselement, alternativt gasbrännare med kringutrustning*: priser enligt offerter.
- *Relativ schaktkostnad*: Den ugn som kräver det minsta urtaget i golv är ugnen för immersionsbrännare. De båda andra ugnarna har erhållit ett pristillägg som är proportionellt mot volymen för det extra erforderliga urtaget i golv. Hävid har priset per m³ antagits till 2 500 kr/m³. Golvurtagsvolymerna framgår av kapitel 5.6.
- *Elkablar (5st 3×300mm²) från anslutningspunkt till ställverk*: priset är beräknat till 2 450 kr/m och avståndet uppskattat till 75 m varav häften utomhus.
- Priser för övrig kabeldragning, gasledning, samlingsrör för avgaser samt gemensam avgaskanal är marginella och redovisas som övrigt i fig.27:

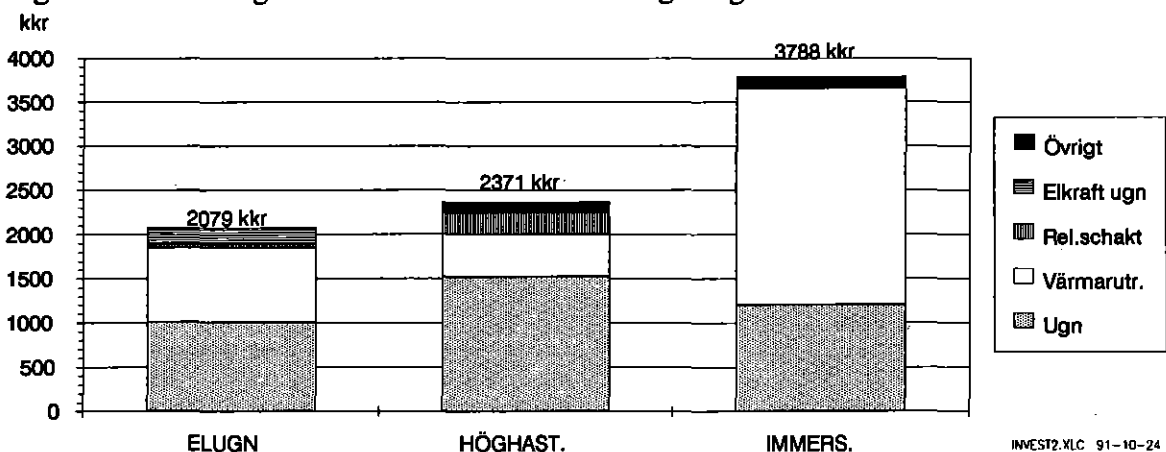


Fig.27 Erforderlig investering för de olika alternativen

Kapitalkostnaden per år, dvs annuiteten, är följande för de olika alternativen:

- Elvärmd ugn 269 kkr
- Gaseldad ugn med höghastighetsbrännare 307 kkr
- Gaseldad ugn med immersionsbrännare 491 kkr

5.2 Energikostnader

Eftersom anläggningen kommer att köras i 2-skift (16 timmar per dygn) och antalet produktionsdygn i genomsnitt är 210 per år blir produktionstiden 3360 timmar per år varvid följaktligen stilleståndstiden blir 5400 timmar per år.

Med kännedom om erforderlig effekt vid olika kapaciteter (kapitel 5.6) samt produktions- och stilleståndstider har beräkningar av energikostnader utförts.

Elenergi kostnader är beräknade utifrån högspänningstariff H2 enligt följande:

Fast avgift	6 000 kr/år
Effektavgift	380 kr/kW × år
Energiavgift jan - april och okt - dec	22,5 öre/kWh
Energiavgift maj - september	18,5 öre/kWh

Årsmedelvärde av energiavgiften är 21,05 öre/kWh. (Produktionen är relativt konstant under året) Elenergi kostnaden har beräknats för tariff H2 samt för två ytterligare alternativ med 10 respektive 20 % ökat elpris:

	Tariff H2	Tariff H2 + 10 %	Tariff H2 + 20 %
Fast avgift	6 000 kr/år	6 600 kr/år	7 200 kr/år
Effektavgift 1 000 kW	380 000 kr/år	418 000 kr/år	456 000 kr/år
Energiavgift	21,05 öre/kWh	23,16 öre/kWh	25,26 öre/kWh

Elugnsens effekt är 969kW vilket innebär att effektavgiften måste väljas för minst 1 000kW. Summan av den fasta avgiften och effektavgiften varierar då mellan 386 000 kr/år (H2), 424 600 kr/år (H2 + 10 %) och 463 200 kr/år (H2 + 20 %) varvid elkostnaden per kWh varierar med produktionen enligt nedanstående tabell:

MEDELKAPACITET [ton/h]	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5	2,5	0,0
Motsv. årstonnage [ton/år]	25200	21840	18480	15120	11760	8400	0
Energi kostnad H2 öre/kWh	30,6	31,3	32,0	32,8	33,8	34,9	38,9
Energi kostn. H2+10% öre/kWh	33,7	34,4	35,2	36,1	37,2	38,4	42,8
Energi kostn. H2+20% öre/kWh	36,8	37,5	38,4	39,4	40,5	41,9	46,7

Det kommer att byggas ett gasolbergum i omedelbar närhet av Gävle Galvan vilket innebär att "färdig gas" (i gasfas) direkt kan levereras till anläggningen. Gaspriset beräknas härvid bli c:a 18 öre/kWh.

Energi kostnaderna har beräknats för samtliga tre ugnsalternativ och vid årsmedelkapaciteterna 2,5 3,5 4,5 5,5 6,5 och 7,5 ton/h. För elugnen har kostnaderna beräknats vid de tre taxorna H2, H2 + 10 % samt H2 + 20 % enligt ovanstående tabell och för gasugnsalternativen vid gasolpriserna 15, 20 och 25 öre/kWh.

Resultaten uttryckta i antal tusen kronor per år [kkr/år] respektive kronor per ton galvaniserat gods [kr/ton] för de tre alternativen framgår av fig.28 - 30. I diagrammen är hjälplinjer för kapaciteten 4,5 ton/h inlagda.

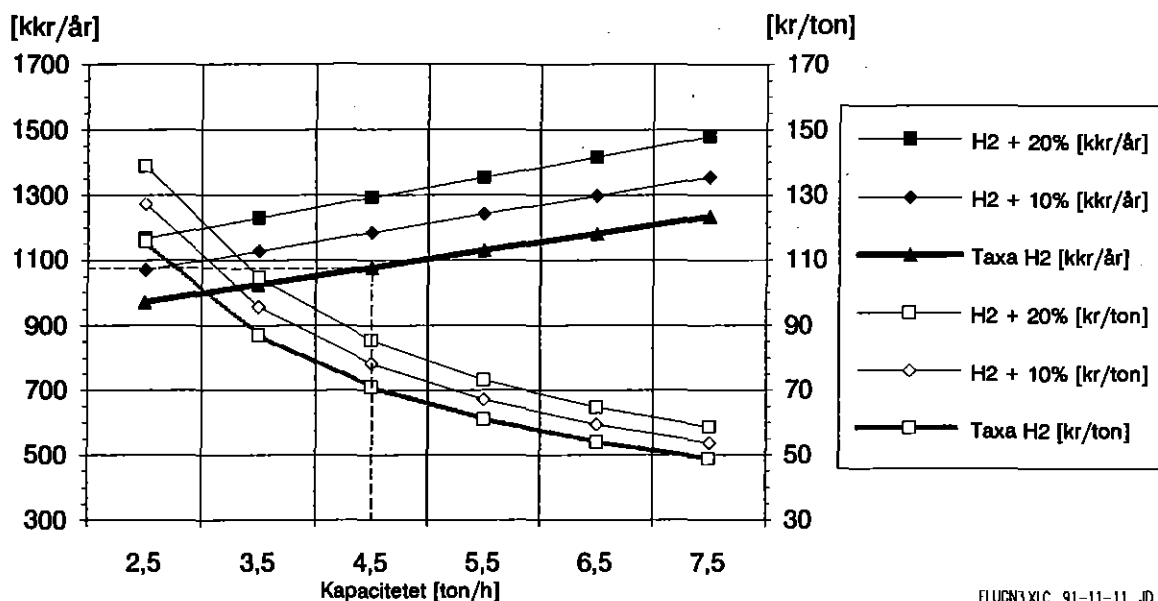


Fig.28 Energikostnader per år och per ton gods för elugn vid olika kapaciteter

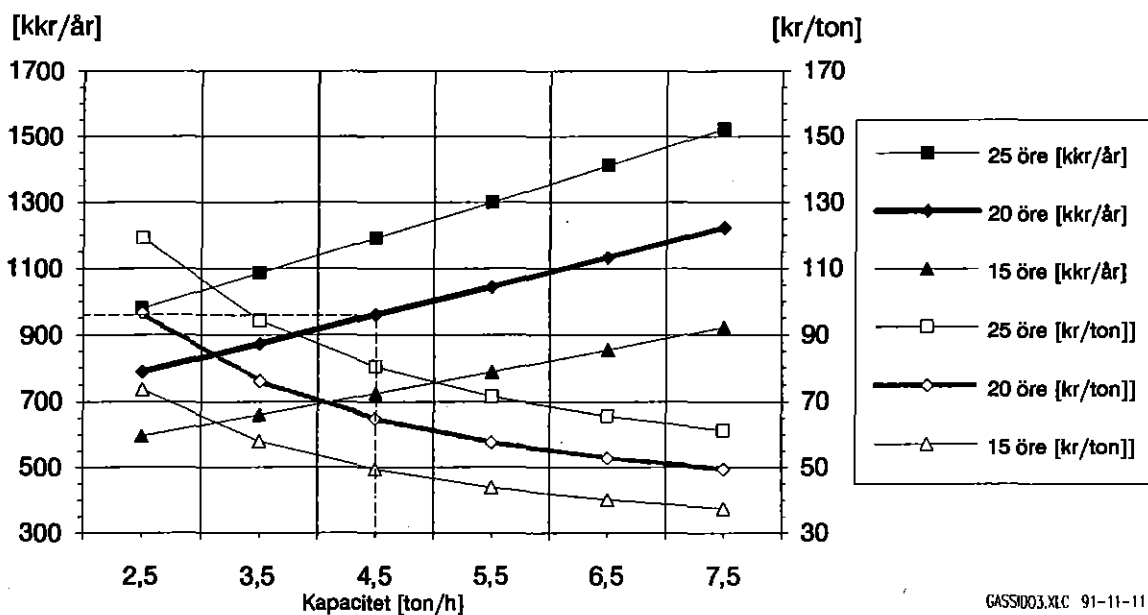


Fig.29 Energikostnader per år och per ton gods för ugn med högstighetsbrännare vid olika kapaciteter

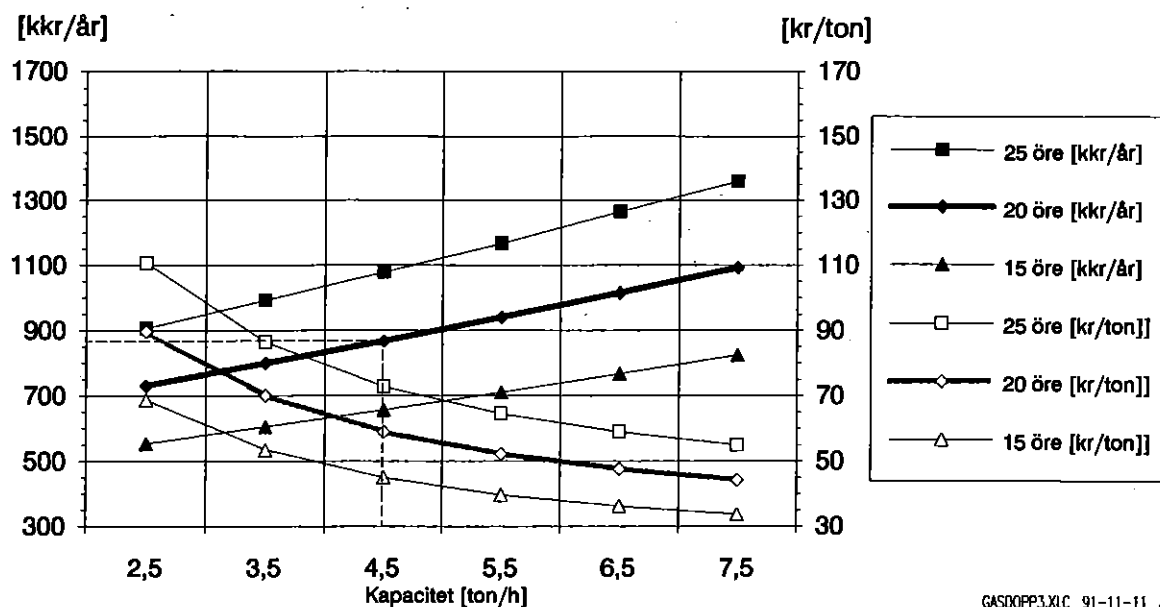


Fig.30 Energikostnader per år och per ton gods för ugn med immersionsbrännare vid olika kapaciteter

En jämförelse av energikostnader per år, fig.31, och energikostnader per ton, fig.32, presenteras för alternativen elugn respektive gaseldad ugn med höghastighetsbrännare. Eftersom investeringen för ugnen med immersionsbrännare är så mycket högre än för ugnen med höghastighetsbrännare (3 788 mot 2 371 kkr) är endast energikostnaden för den senare medtagen i denna jämförelse.

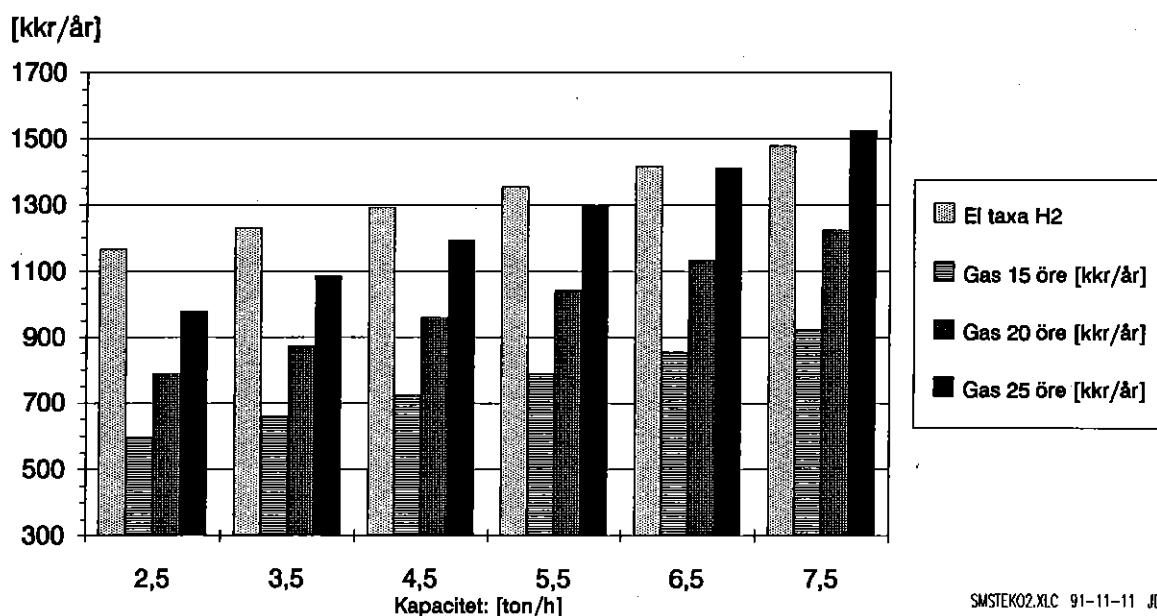


Fig.31 Årlig energikostnad för elugn respektive gaseldad ugn med höghastighetsbrännare vid olika gasolpriser per kWh

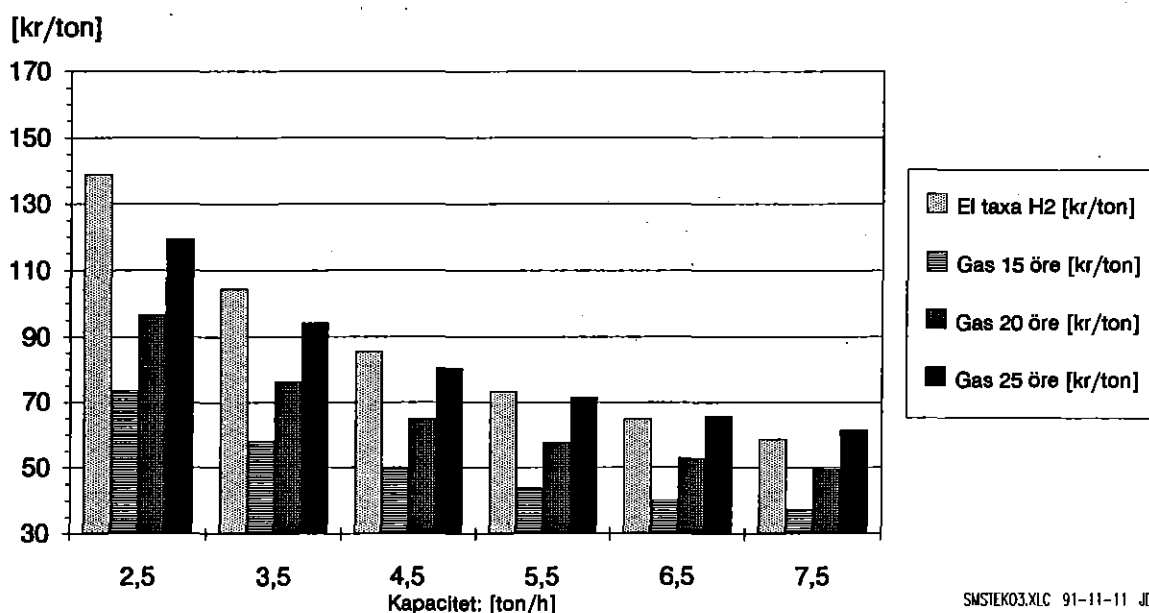


Fig.32 Energikostnad per ton gods för elugn respektive gaseldad ugn med höghastighetsbrännare vid olika gasolpriser per kWh

Den årliga energikostnaden för samtliga alternativ vid de olika kapaciteterna framgår av diagrammet i bilaga 5.

Vid ett gaspris av 20 öre/kWh är energikostnaden för den gaseldade ugnen med höghastighetsbrännare lägre vid samtliga kapaciteter. Vid ett gaspris av 25 öre/kWh är energikostnaden ungefär lika vid kapaciteten 6,5 ton/h och något högre vid kapaciteten 7,5 ton/h.

För att ytterligare belysa sambandet mellan energipris, verkningsgrad och årlig energikostnad presenteras i fig. 34 den årliga energikostnaden för följande alternativ:

UGN	ENERGIPRIS	VERKNINGSGRAD
Elvärme taxa H2	30,6 - 38,9 öre/kWh	98%
Elvärme taxa H2 + 10%	33,7 - 42,8 öre/kWh	98%
Immersion	20 öre/kWh	73,5 - 80,5 %
Höghastighet	20 öre/kWh	62,3 - 70,2 %

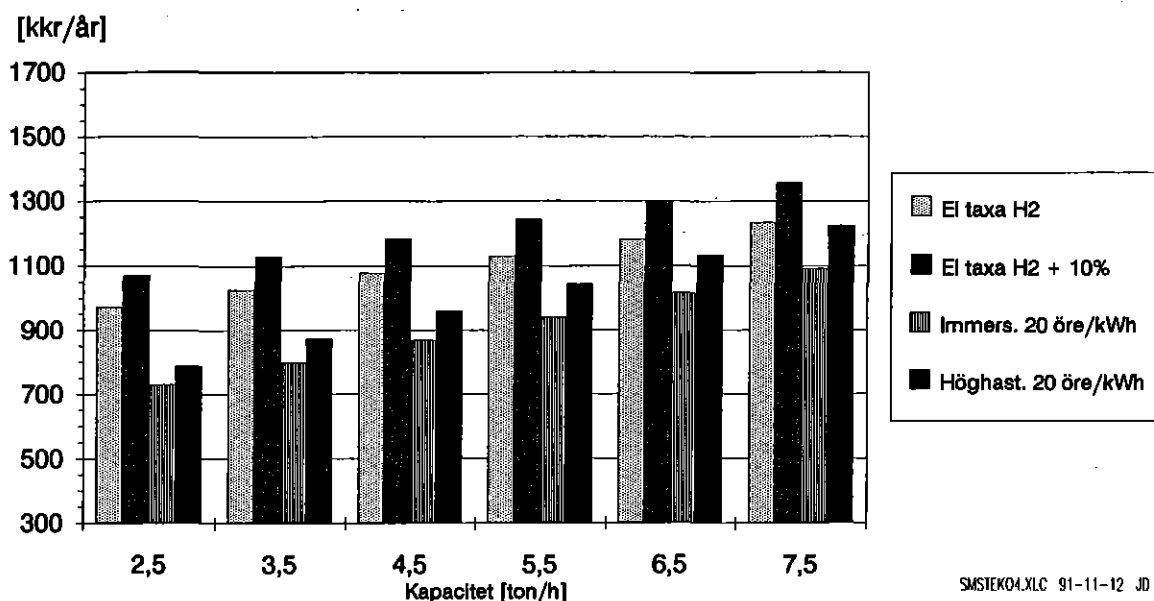


Fig.33 Årlig energikostnad för elugn respektive gaseldade ugnar med immersions- respektive höghastighetsbrännare.

5.3 Underhållskostnader

En viktig underhållskostnaden för samtliga alternativ är byte av degel. Eftersom kostnaden för arbetstid är tämligen lika för de olika alternativen har endast kostnaden för den nya degeln exl. arbetstid medtagits. Vid beräkning av årskostnaden för byte av degel har hänsyn tagits till den teoretiska livslängden:

	Elugn med mot- ståndselement	Ugn med hög- hastighetsbränn.	Ugn med immer- sionsbrännare
Pris för degel	640 kkr	558 kkr	850 kkr
Teoretisk livslängd	7,4 år	9,5 år	11,5 år
Approximativ degelkostnad	86 kkr/år	59 kkr/år	74 kkr/år

För en elvärmd ugn med motståndselement utgörs det övriga underhållet huvudsakligen av byte av enstaka motståndselement samt byte av de isolerade luckor som täcker badet under stilleståndsperioderna. Vid kontroll av dessa kostnader erhöles stor spridning av svaren, från totalt c:a 10 till c:a 200 kkr/år. Dessa kostnader avsåg endast material.

Underhållskostnaden för den elvärmda ugnen har därför uppskattats till degelkostnad + 1,5 % per år av investerat kapital.

Komponenter med begränsad livslängd för de gaseldade ugnarna är, förutom degel och täckluckor, flamövervakningssensorer, eldningsautomatik, tändelektroder, fläktlager, membran etc. Dessa komponenter är tämligen prisbilliga men kräver en totalt större arbetsinsats vid byte varför delunderhållskostnaden även här har uppskattats till degelkostnad + 1,5 % av investerat kapital per år inklusive arbetstid.

För ugnen med immersionsbrännare tillkommer dessutom kostnaden för byte av immersionstuber. Eftersom dessa kan köras tills de havererar utan att skada brännaren uppskattas den genomsnittliga livslängden till 18 månader vilket innebär att 20 tuber á 3 000 kronor behöver bytas varje år. Underhållskostnaden för byte av immersionstuber blir Då 70 kkr/år inklusive arbetskostnad för byte.

Underhållskostnaderna för de olika alternativen framgår av fig.35:

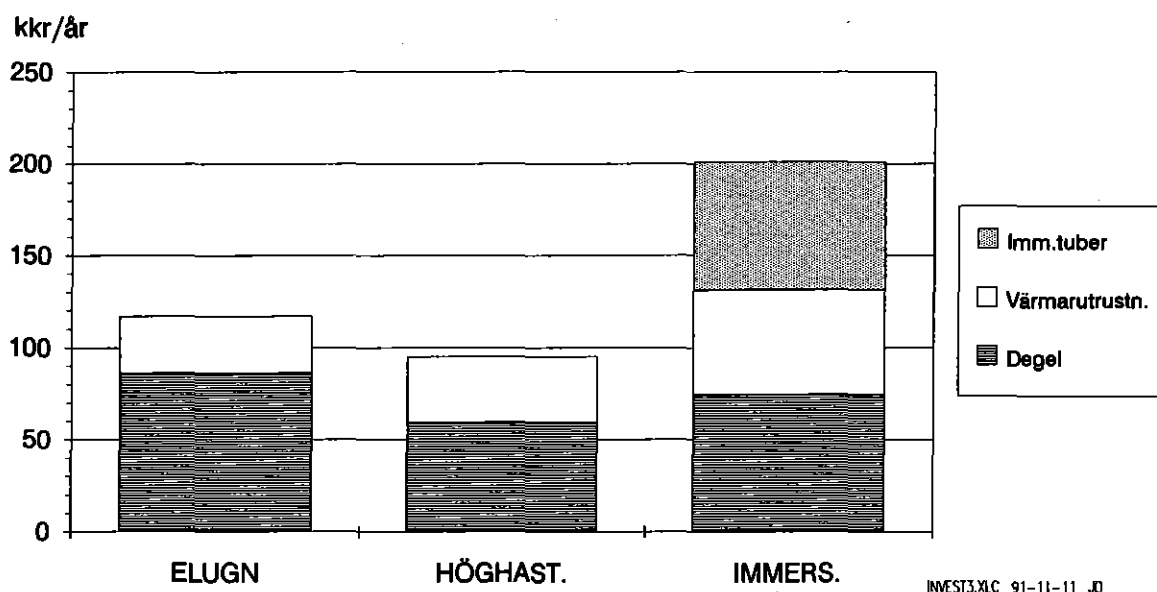


Fig.34 Underhållskostnader per år för de olika ugnsalternativen

5.4 Sammanställning av kostnader och känslighetsanalys

Den totala kostnaden är summan av kapitalkostnad, underhållskostnad och energikostnad och den varierar med kapaciteten. Sambandet mellan den totala kostnaden per år respektive totalkostnaden per ton gods för olika timmedelkapaciteter framgår av nedanstående diagram där jämförelser är gjorda mellan alternativen elvärme och höghastighetsbrännare (fig.35 och 37) samt mellan elvärme och immersionsbrännare (fig.36 och 38).

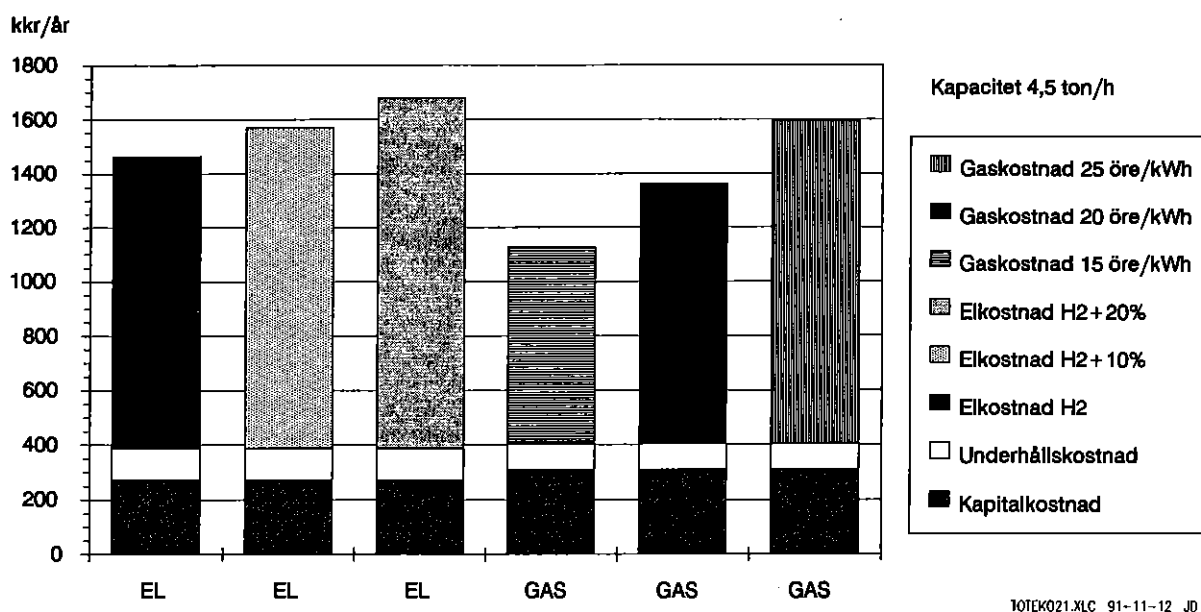


Fig.35 Årlig totalkostnad för elugn respektive gaseldad ugn med höghastighetsbrännare vid olika gasolpriser per kWh

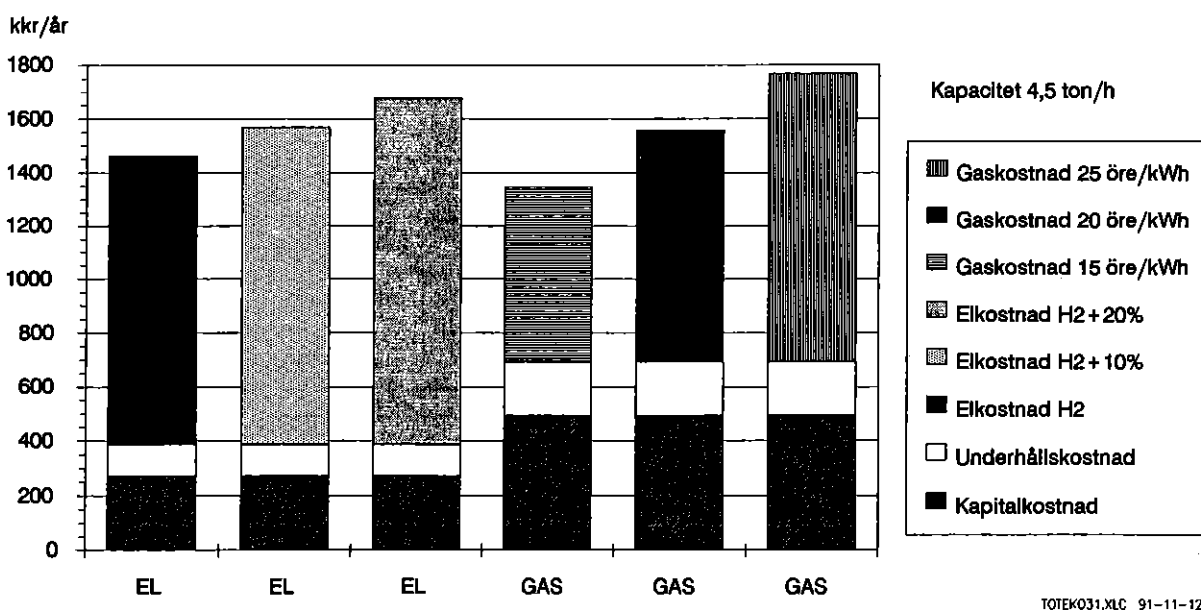


Fig.36 Årlig totalkostnad för elugn respektive gaseldad ugn med immersionsbrännare vid olika gasolpriser per kWh

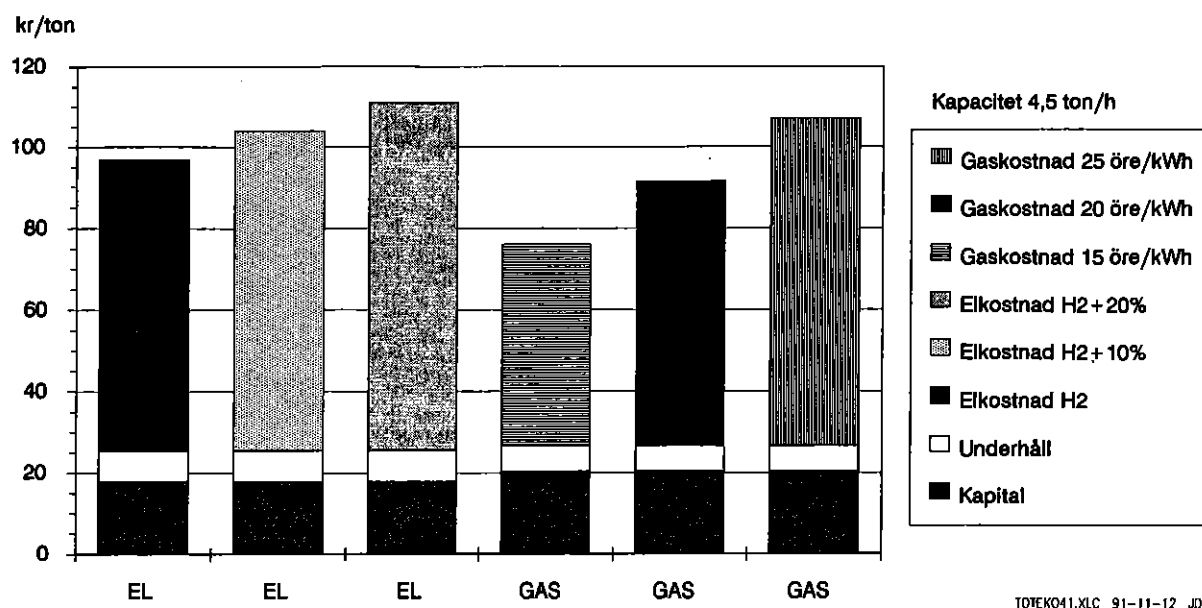


Fig.37 Årlig totalkostnad per ton gods för elugn respektive gaseldad ugn med höghastighetsbrännare vid olika gasolpriser per kWh

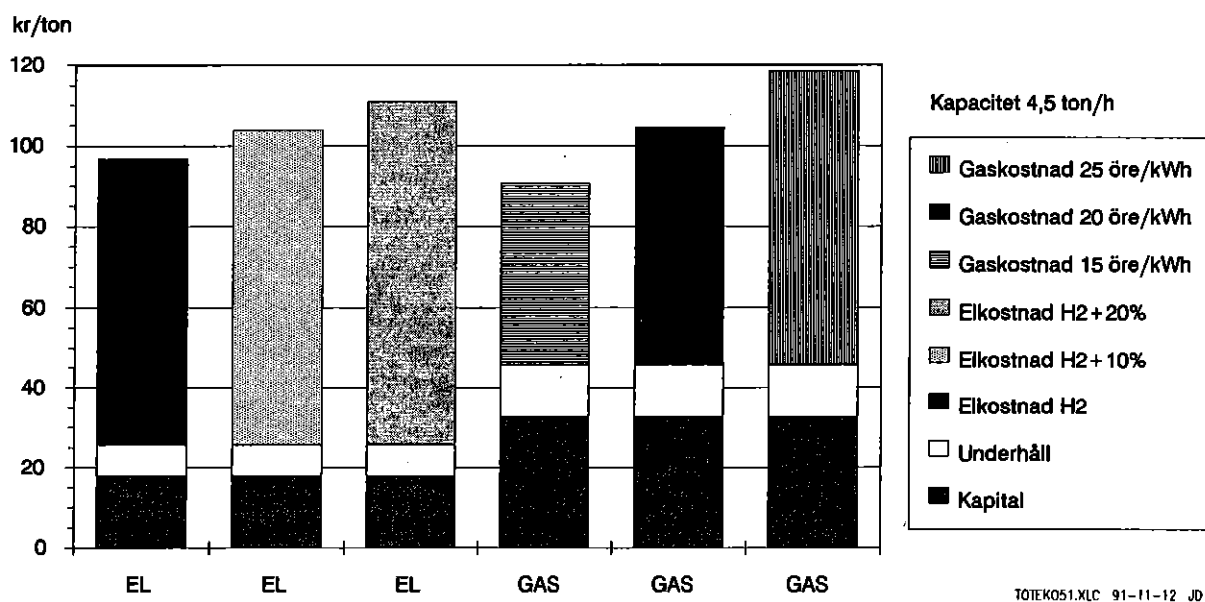


Fig.38 Årlig totalkostnad per ton gods för elugn respektive gaseldad ugn med immersionsbrännare vid olika gasolpriser per kWh

Känslighetsanalysen är utförd som en jämförelse av totalkostnader per år vid olika kapaciteter och energipriser för de tre alternativen, se fig.39.

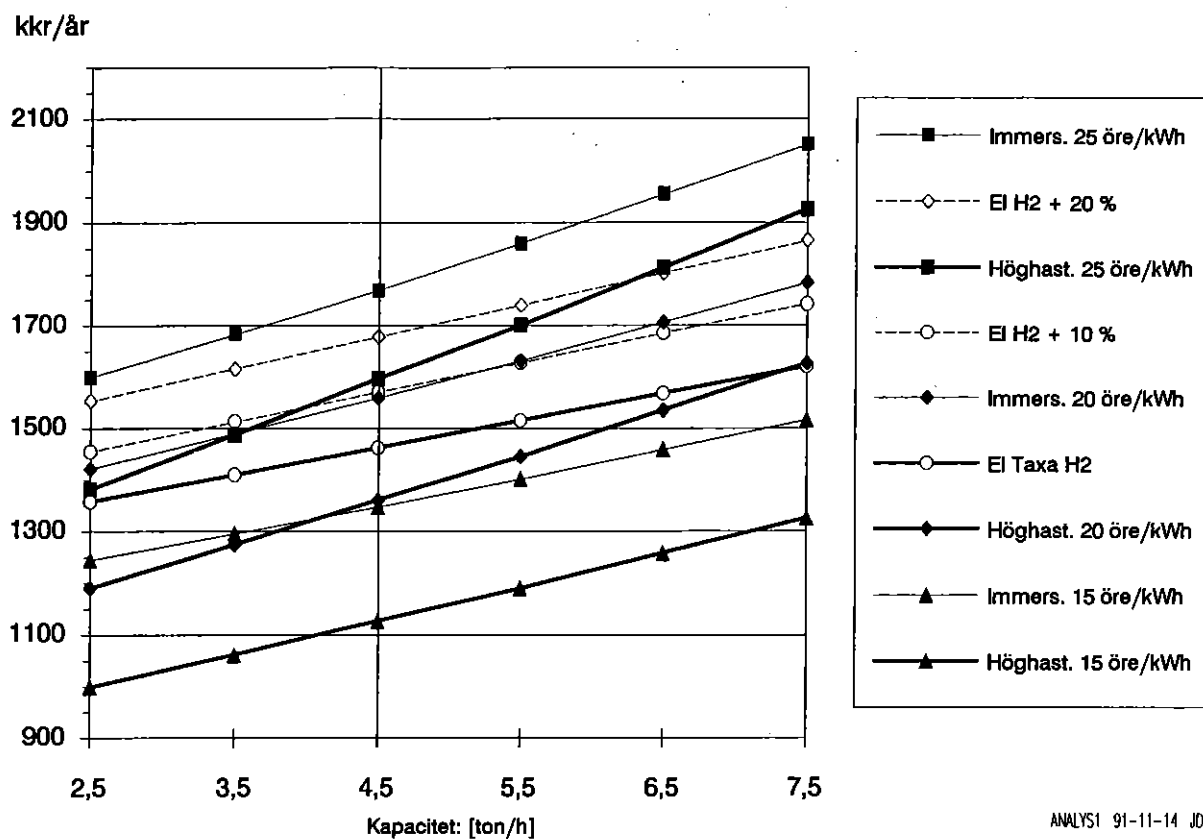


Fig.39 Årlig totalkostnad för samtliga ugnstyper vid olika kapaciteter och energipriser

Av diagrammet kan man utläsa att vid ett gaspris av c:a 22 öre/kWh blir kostnaden för den elvärmda ugnen samma som för den gaseldade ugnen med höghastighetsbrännare vid kapaciteten 4,5 ton/h motsvarande 15 000 årston.

Vid det förmodade gaspriset 18 öre/kWh blir totalkostnaden drygt 200 kkr lägre per år för den gaseldade ugnen med höghastighetsbrännare än för ugnen med elvärme.

6. SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Vid rådande elpriser är den gaseldade ugnen med höghastighetsbrännare är ett klart lönsamt alternativ till den elvärmda ugnen vid gaspriset 18 öre/kWh. Vid kapaciteten 4,5 ton/h motsvarande 15 000 årston blir besparingen c:a 230 kkr/år och brytpunkten där totalkostnaden blir densamma för gaseldning som för elvärme erhålles vid ett gaspris av c:a 22 öre/kWh.

Valet för Gävle Energi står således mellan elvärme eller gaseldning med höghastighetsbrännare.

Trots hög verkningsgrad, stor reserveffekt och en mycket noggrann temperaturreglering är zinkugnen med gaseldade immersionsbrännare ej något alternativ vid denna typ av anläggningar. Huvudorsaken är den avsevärt större investeringen med 30 st immersionsbrännare jämfört med en ugn med 4 st höghastighetsbrännare, 3 788 kkr jämfört med 2 371 kkr. Erforderlig investering för elugnen är 2 079 kkr.

Litteraturstudien har dock visat att avsevärda energibesparingar och kapacitetsökningar kan uppnås med immersionsbrännare vid konvertering av befintliga anläggningar (ofta med keramisk degel) utrustade med exempelvis elektrisk övervärmning eller olika typer av konventionell gaseldning.

Vattenfall Energisystem AB utför därför för närvarande en inventering av befintliga zinkugnar i landet med syftet att finna en mer lämplig anläggning för demonstration av immersionsbrännare.

För att slippa beroendet av endast en energileverantör samt att minimera risken för driftstopp går det att utrusta ugnstypen med höghastighetsbrännare med motståndselement så att både gaseldning och elvärmning blir möjlig på samma ugn. Denna teknik och dess ekonomiska konsekvenser bör närmare utredas.

Vid samtliga beräkningar i denna studie har ingen hänsyn tagits till värmeåtervinning ur avgaserna. Om exempelvis 50% av avgasvärmen från höghastighetsbrännarna kunde återvinnas innebär detta en energibesparing på 17,5 % under produktion med kapaciteten 4,5 ton/h. Vid ett gaspris av 18 öre/kWh motsvarar detta en intäkt av 58 kkr/år under förutsättning att återvunnen energi kan utnyttjas. Även denna teknik och dess ekonomi bör närmare utredas.

7. REFERENSER

7. REFERENSER

Andersson Lars-Erik, El & Gasteknik AB: personliga samtal

Briand J et al: *Latest developments in hot-dip galvanizing in France*
Intergalva 82, London, England 9 -14 May 1982
Portcullis Press, Surrey, England, 1982

Burns: Uppgifter ur datablad från Burns Furnace Engineering, England, 1991

Cook Thomas H: *Hot Dip Galvanizing "Tips"*
Metal Finishing 78 (7) 35-36 July 1980

Cook Thomas H et al: *Increasing Profits in Hot Dip Galvanizing*
Metal Finishing 84 (5) 23-27 May 1986

Etcheils D E: *Conservation of heat energy in the galvanizing plant*
Intergalva 82, London, England 9 -14 May 1982
Portcullis Press, Surrey, England, 1982

Eriksson Lennart, Gävle Galvan AB: Personliga samtal

Evensen Torstein, C.H. Evensen Industriovner A/S: Personliga samtal

Gogler P: *Techniques and Economics of Galvanizing of Steel*
Feurverzinken 16 (2) 18-20 June 1987

Hansen Eigil, WZ Mora AB: Personliga samtal

Junker Helmut L: *Intriebnahme und Verhalten von Verzinkungskesseln*
Stahl und Eisen 102 (1982) nr 25-26

Johansson Tomas: *Energikartläggning Vadstena Varmförzinkning AB*
Vattenfall Uppdrag 2000: Rapport KM1/87 1987

Klammer Helmut: *Allgemeine Grundsätze für die Wahl der Beheizungseinrichtung und den Bau von Verzinkungsöfen*
Stahl und Eisen 92 (1972) nr 10

Mass Peter et al: *Handbuch Feurverzinken*
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1970

May Jürgen: *Metal Bath with Mains-Frequency Induction Side-Wall Heating*
LEW-Nachrichten 15 (34) 18-22 1984

Peissker Peter: *Möglichkeiten der Senkung des Energieverbrauchs und Erhöhung der Effektivität beim Feuerverzinkungsprozess*
Neue Hütte 27 (6) 205-208 June 1982

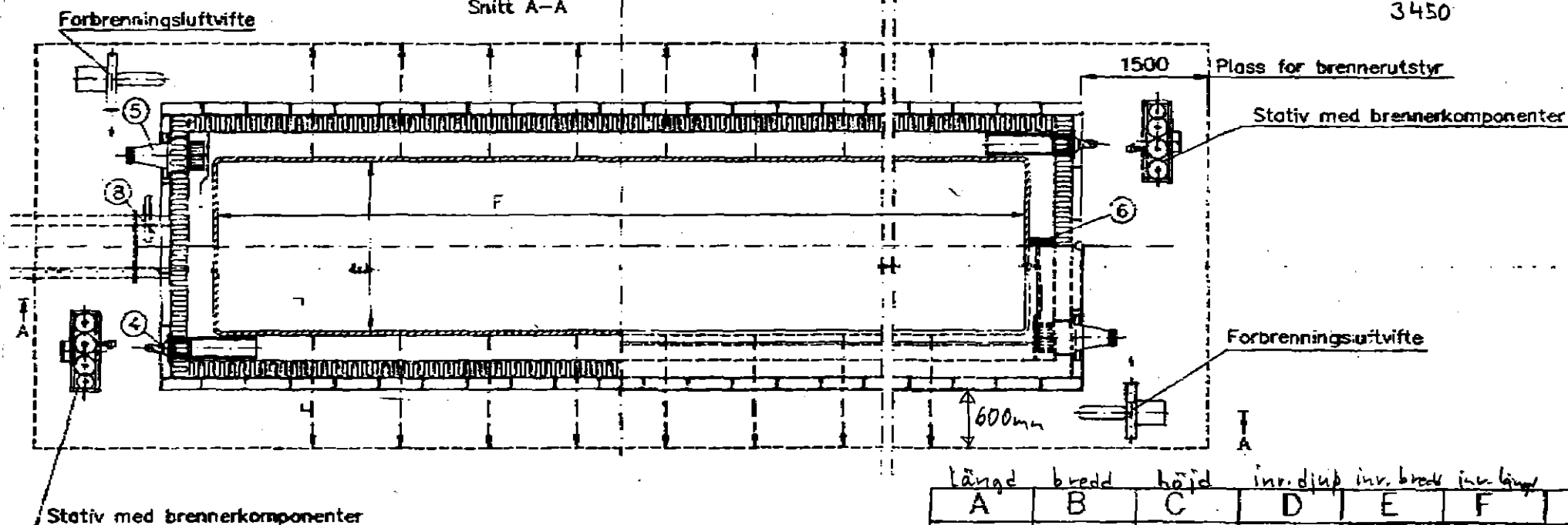
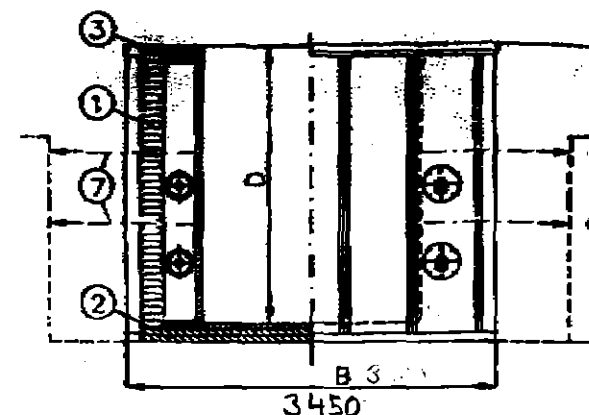
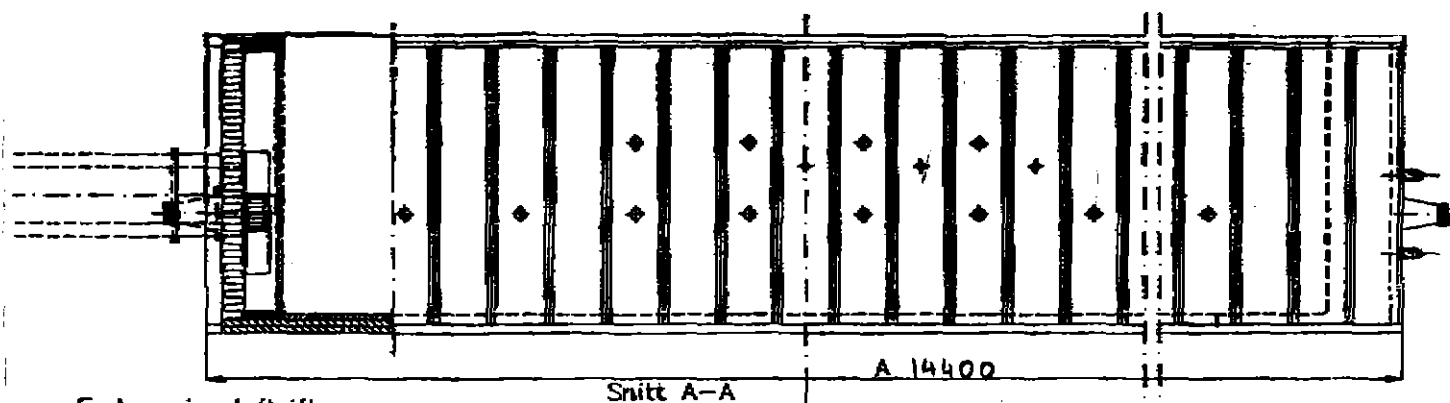
Porter F C: *Hot-dip galvanizing - worldwide*
Metal Bulletin Monthly (137) 39-47 May 1982

Roebuck P H A och Beatson J G: *Electric Immersion heaters*
14th International Galvanizing Conference, Munich, Germany 9-14 June 1985
Zinc Development Association, London, England, 1985

Stapleton Grey A: *Upgrading Hot Dip Galvanizing Installations*
Industrial Heating 47 (1) 22-23, 26, 28 January 1980

Vazquez A J: *Verbesserung der Wirtschaftlichkeit bei der Verzinkung*
Metall 40 (9) 912-914 September 1986

Westerlund Mats, Gävle Galvan AB: personliga samtal



8	Avgasskanal
7	Digelstøtter
6	Termoelementer
5	Sirkulasjonsvifte
4	Gassbrenner
3	Digefflensisolasjon
2	Skamoler-plater
1	Keramisk blokkisolasjon

längd	bredd	höjd	inv. dyb	inv. bred	inv. längd	
A	B	C	D	E	F	G
14400	3450	3200	3000	2000	13000	

Dato	Kontroll / Tegnet	Skalning	Skala
16.08.91	T.M.		1:50

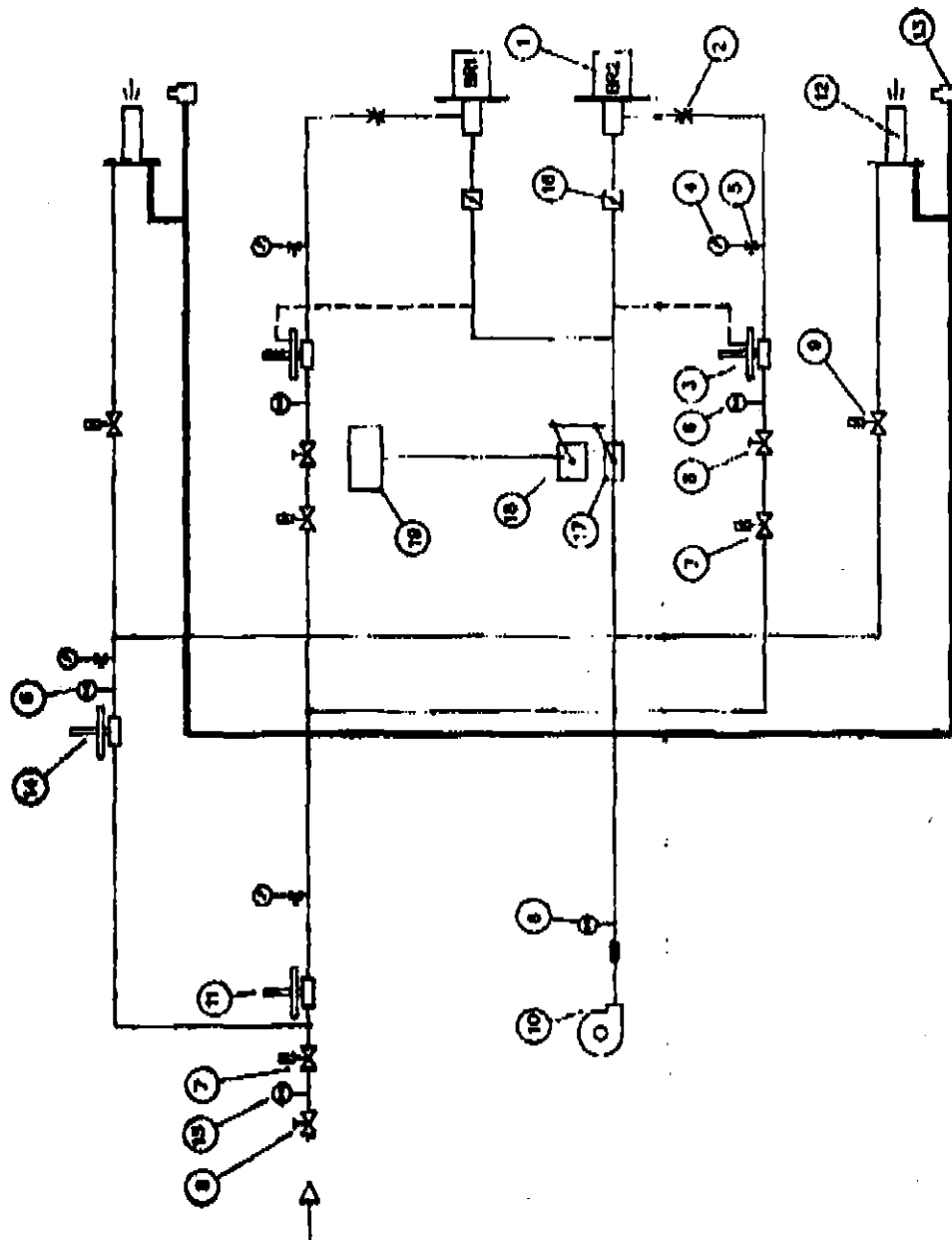
CHE CALORESEN MASCHINEN A
Fredrikstad - Norway

GASFYRT VARMFORSINKINGSOVN
MED STÅLDIGEL

Utskrift for: Utskrift av:

4-3155

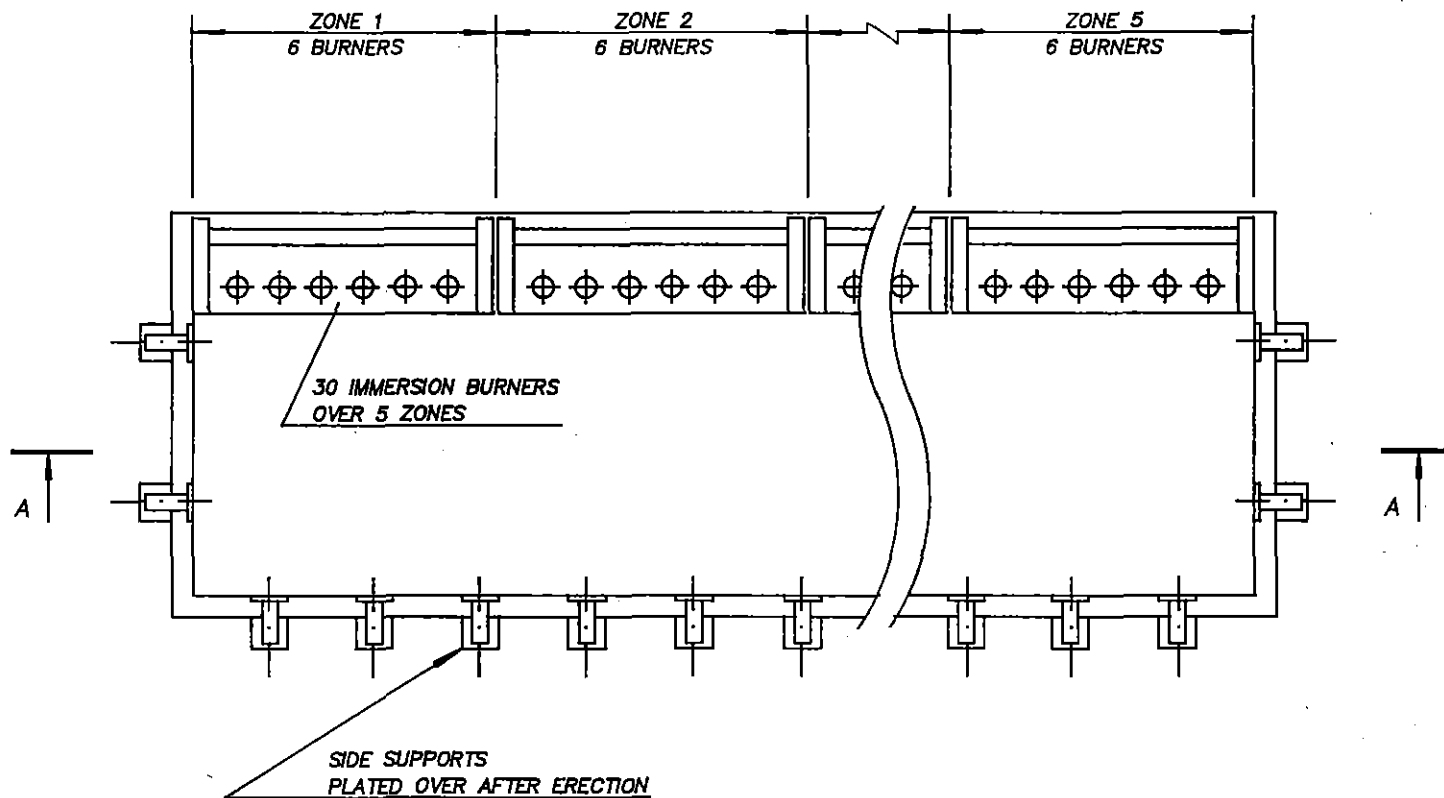
Handtegn: Tegning:



Skjematisk plan over brænder 1 og brænder 2.

1	Temperature controller	19	
2	Water 1/4" 40-100mm 1/2" 40-100mm 1/2" 40-100mm	18	Pressure
2	Water valve 2 1/2" 40-100mm 1/2" 40-100mm	17	Pressure
4	Water valve 1 1/2" 40-100mm 1/2" 40-100mm	16	Pressure
2	Pressure switch 40-100mm 1/2" 40-100mm	15	Pressure
2	Reduction valve 40-100mm 1/2" 40-100mm	14	Pressure
4	UV-Burner 7150-0300-1 NPT	13	Pressure
4	UV-Burner 44851-1	12	Pressure
2	Reduction valve 40-100mm 1/2" 40-100mm	11	Pressure
2	Combustion burner	10	
4	Scrubber valve 40-100mm 1/2" 40-100mm	9	Pressure
6	Ball valve 40-100mm 1/2" 40-100mm	8	Pressure
6	Scrubber valve 40-100mm 1/2" 40-100mm	7	Pressure
10	Pressure switch 40-100mm 1/2" 40-100mm	6	
12	Ball valve 1/2"	6	
8	Manometer 1/4" 160mm	4	
4	Ball valve 40-100mm 1/2" 40-100mm	3	Pressure
4	Gas control valve 40-100mm 1/2" 40-100mm	2	Pressure
4	Gas burner 40-100mm 1/2" 40-100mm	1	Pressure
05.04.90 T.M.			4-3160 GAS FIRED GALVANIZING FURNACE GAS AND AIR FLOW TO BURNERS. SCHEMATIC DIAGRAM.

PLAN VIEW



EL & GASTEKNIK AB

GALVANIZING BATH

CJO

LS

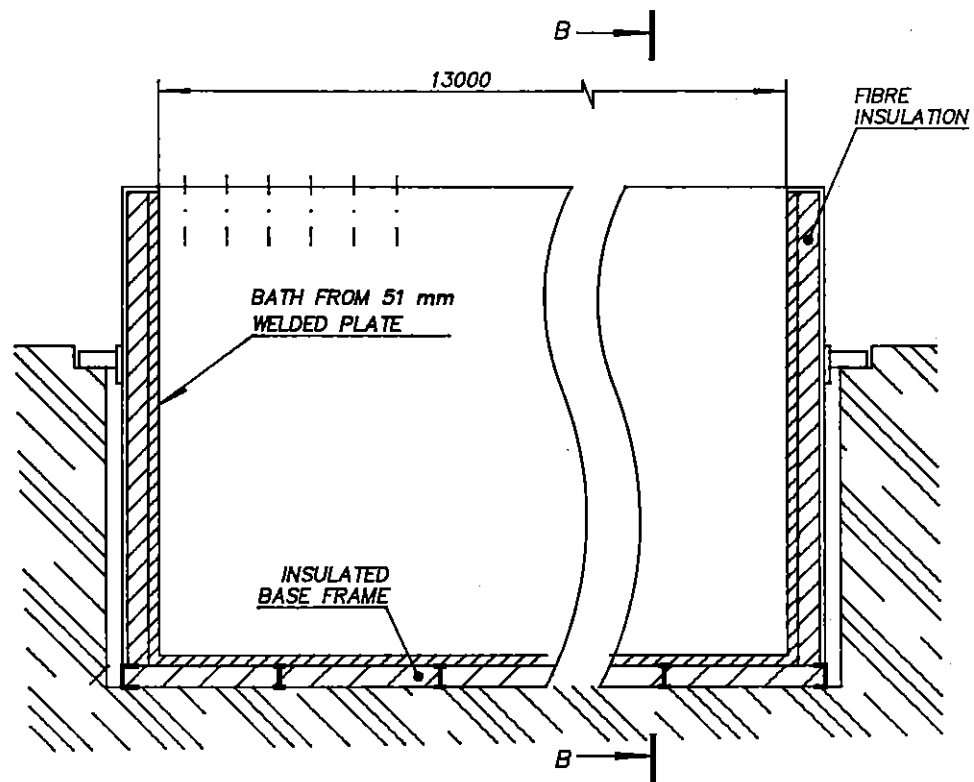
PLAN VIEW

910902

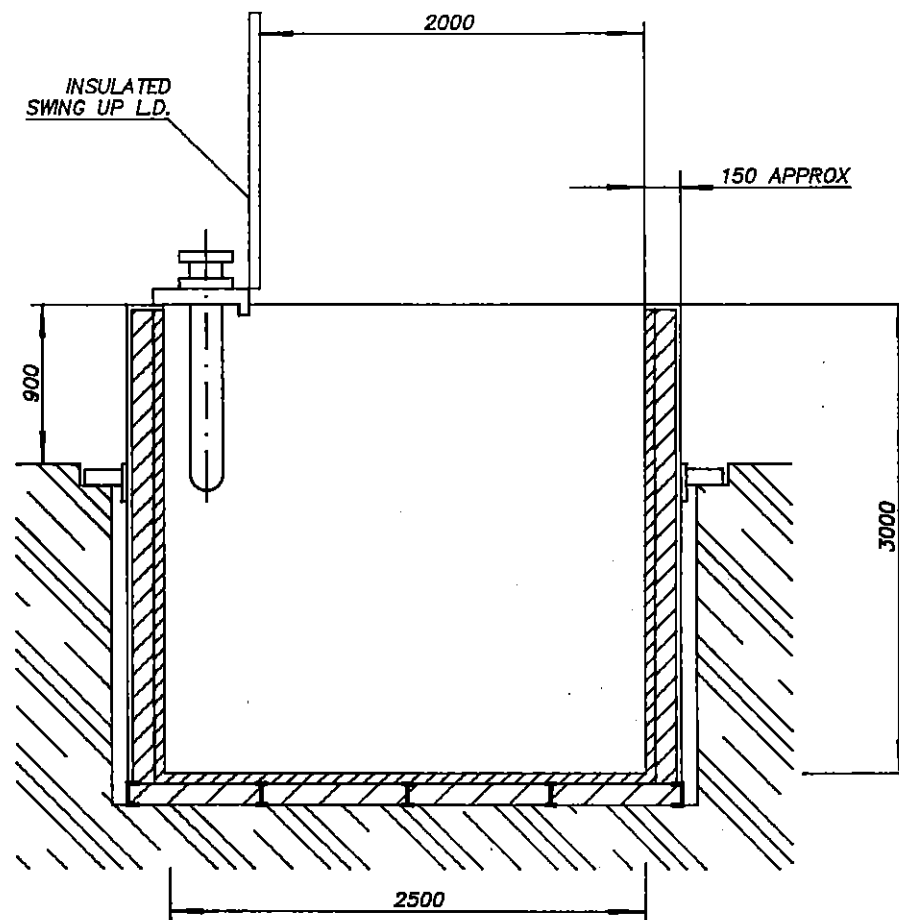
BL.1

91018

Rev.Nr.	Rev.datum	Ändring	Pos	Sign.



SECTION A-A



SECTION B-B

EL & GASTEKNIK AB

GALVANIZING BATH

SECTION AA

SECTION BB

CJO

LS

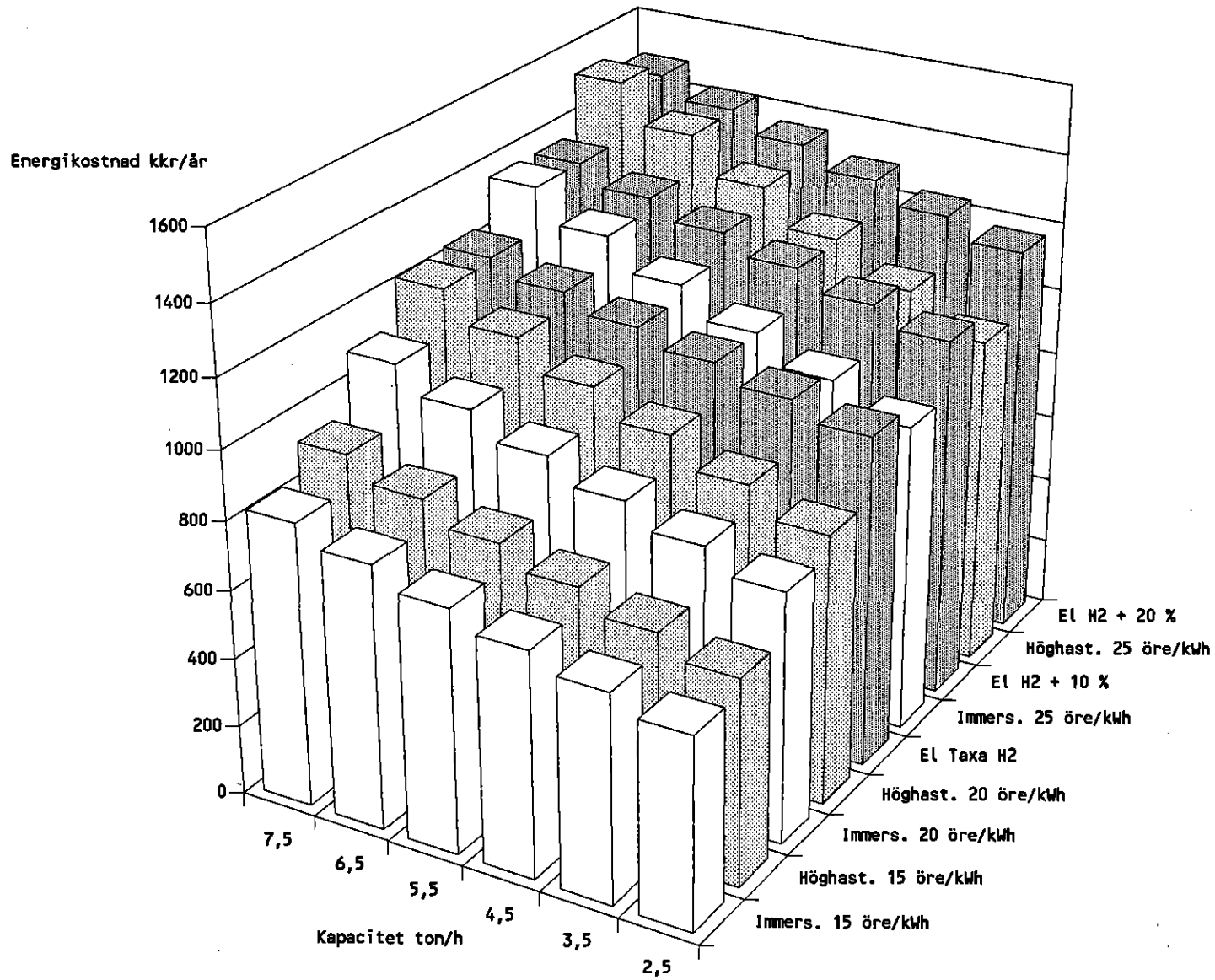
910902

BL.2

91018

Rev.Nr.	Rev.datum	Ändring	Pos	Sign.

ENERGIKOSTNADER



92-06-12

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
001	Systemoptimering vad avser ledningstryck	Apr 91	Stefan Grudén TUMAB	100
002	Mikrokraftvärmeverk för växthus. Utvärdering	Apr 91	Roy Ericsson Kjessler & Mannerstråle AB	100
003	Katalog över gastekniska FUD-projekt i Sverige	Apr 91	Svenskt Gastekniskt Center AB	100
004	Krav på material vid kringfyllnad av PE-gasledningar	Apr 91	Jan Molin VBB VIAK	50
005	Teknikstatus och marknadsläge för gasbaserad minikraftvärme	Apr 91	Per-Arne Persson SGC	150
006	Keramisk fiberbrännare - Utvärdering av en demo-anläggning		R Brodin, P Carlsson Sydkraft Konsult AB920212	100
007	Gas-IR teknik inom industrin. Användnings- områden, översiktlig marknadsanalys	Aug 91	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	100
008	Catalogue of gas technology RD&D projects in Sweden	Jul 91	Swedish Gas Technology Center	100
009	Läcksökning av gasledningar. Metoder och instrument	Dec 91	Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
010	Konvertering av aluminiumsmältugnar. Förstudie	Sep 91	Ola Hall, Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
011	Integrerad naturgasanvändning i tvätterier. Konvertering av torktumlare	Sep 91	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	100
012	Odöranter och gasolkondensats påverkan på gasrörsystem av polyeten	Okt 91	Stefan Grudén, F. Varmedal TUMAB	100
013	Spektralfördelning och verkningsgrad för gaseldade IR-strålare	Okt 91	Michael Johansson Drifttekniska Instit. vid LTH	150
014	Modern gasteknik i galvaniseringsindustri	Nov 91	John Danelius Vattenfall Energisystem AB	100
015	Naturgasdrivna truckar	Dec 91	Asa Marbe Sydkraft Konsult AB	100
016	Mätning av energiförbrukning och emissioner före o efter övergång till naturgas	Mar 92	Kjell Wanselius KW Energiprodukter AB	50

92-06-12

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
017	Analys och förslag till handlingsprogram för området industriell vätskevärmning	Dec 91	Rolf Christensen AF-Energikonsult Syd AB	100
018	Skärning med acetylen och naturgas. En jämförelse.	Apr 92	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100
019	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Glostorp, Malmö. Uppföljningsprojekt	Maj 92	Fallsvik J, Haglund H m fl SGI och Malmö Energi AB	100
020	Emissionsdestruktion. Analys och förslag till handlingsprogram	Jun 92	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150



Svenskt Gastekniskt Center AB

Box 50525, 202 50 MALMÖ

Telefon: 040-700 40

Telefax: 040-30 50 82