

JERNKONTORETS FORSKNING

Järn- och stålframställning

Energi och ugnsteknik

Jernkontorets utbildningspaket – del 7



Förord

Jernkontorets utbildningspaket är ett läromedel i tolv delar som täcker hela produktionskedjan vid stålframställning.

Utbildningspaketet vänder sig i första hand till anställda vid stålföretagen, elever vid gymnasie- och högskolor samt stålföretagens kunder.

Läromedlet är författat av experter inom nordisk stålindustri.

Delar av paketet har reviderats.

Utbildningspaketet omfattar följande områden:

Del	Titel	Senaste utgåva
1	Historia, grundläggande metallurgi	2016
2	Malmbaserad processmetallurgi	2000
3	Skrotbaserad processmetallurgi	2000
4	Skänkmetallurgi och gjutning	2000
5	Underhåll och driftsekonomi	2001
6	Analytisk kemi	1996
7	Energi och ugnsteknik	1997
8	Bearbetning av långa produkter	2015
9	Bearbetning av platta produkter	2015
10	Oförstörande provning	2007
11	Olegerade och låglegerade stål	1996
12	Rostfritt stål	2015

Innehåll, Energi och ugnsteknik, del 7

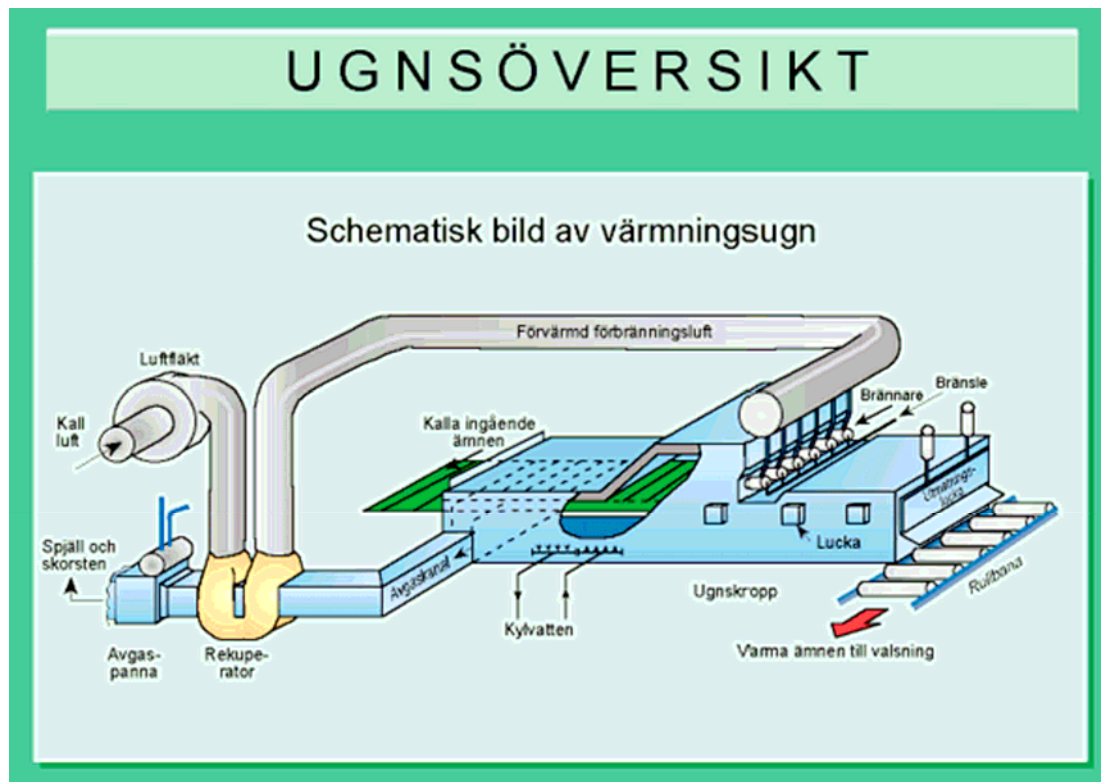
1	GRUNDLÄGGANDE OM ENERGI.....	4
1.1	Energi i olika former.....	4
1.1.1	Vad betyder energi?	4
1.1.2	Var finns energi?	4
1.1.3	Viktigt om energi – generellt	5
1.1.4	Effekt och energi?	5
1.1.4	Hur mäts effekt och energi?	6
1.1.5	Det är skillnad på el och värme.....	6
1.1.6	Några exempel.....	6
1.2	Energiomvandlingar.....	6
1.2.1	Energiomvandling i dagliga livet	7
1.2.2	Energiomvandling i anslutning till ugnar.....	7
1.2.3	Verkningsgrad vid energiomvandling.....	8
1.3	Värmeöverföring – allmänt	8
1.4	Värmeöverföring genom ledning	9
1.5	Värmeöverföring genom konvektion.....	10
1.6	Värmeöverföring genom strålning	11
2	PRODUKTIONSVÄGAR OCH ENERGIFLÖDEN	11
2.1	Från malm till stål	11
2.1.1	Koksverk	12
2.1.2	Masugn	12
2.1.3	LD-konverter	12
2.1.4	Stränggjutning	13
2.1.5	Värmugn	13
2.1.6	Efterbehandling	13
2.2	Energiflöden i malmbaserat verk	13
2.2.1	Energitillförsel.....	13
2.2.2	Gas från processerna är viktiga bränslen.....	14
2.2.3	Elanvändning.....	15
2.2.4	Bränsleanvändning	15
2.2.5	Energibortförsel.....	15
2.3	Från skrot till stål	15
2.3.1	Ljusbågsugn	15
2.3.2	Skänkugn.....	16
2.3.3	Konverter.....	16
2.3.4	Stränggjutning	16
2.3.5	Värmugn.....	16
2.3.6	Efterbehandling	16
2.4	Energiflöden i skrotbaserat verk.....	16
2.4.1	Energitillförsel.....	16
2.4.2	Elanvändning.....	17
2.4.3	Bränsleanvändning	17
2.4.4	Energibortförsel.....	17
3	FÖRBRÄNNING AV BRÄNSLEN.....	18
3.1	Bränslen inom stålindustrin	18
3.1.1	Några data om bränslen.....	18
3.2	Förbränningsförloppet	19
3.2.1	Hur ser förbränningsförloppet ut rent principiellt?	19
3.2.2	Hur sker förbränningen av bränsleluftblandningen?	20
3.2.3	Hur kan förbränningsförloppet varieras?	21
3.3	Viktigt för effektiv förbränning	21
3.3.1	Blandningsförloppet	21
3.3.2	Luftfaktorn	22

3.3.3	Flamhållningen.....	23
3.3.4	Brännarimpulsen	23
3.4	Förbränning och miljö	23
3.4.1	Påverkan från svavel, S	24
3.4.2	Påverkan från kol, C.....	24
3.4.3	Påverkan från kväve, N ₂	24
3.4.4	Påverkan av sot och stoft.....	25
4	VÄRMNING OCH VÄRMNINGSFÖRLOPP	25
4.1	Energibehov i material.....	25
4.2	Värminingskurva.....	27
4.3	Glödskal och avkolning.....	28
4.4	Värmning kan ske med bränsle eller elenergi	29
4.4.1	Bränsleeldade ugnar	29
4.4.2	Elvärmda ugnar	29
4.5	Materialflöde stålverk – ugn – valsverk	30
5	UGNSTYPER OCH UGNSKOMPONENTER.....	31
5.1	Ugnstyper	31
5.1.1	Smältugnar	31
5.1.2	Värmugnar.....	32
5.1.3	Värmebehandlingsugnar.....	34
5.2	Brännare.....	35
5.2.1	Brännarnas uppgifter	35
5.2.2	Det finns många brännartyper	35
5.2.3	Speciellt energieffektiva brännare.....	37
5.2.4	Brännare som ger låga halter av kväveoxider	37
5.3	Infodring.....	38
5.3.1	Infodring – allmänt.....	38
5.3.2	Ugnsinfodring.....	38
5.4	Rekuperator.....	39
5.4.1	Varför minskar bränsleförbrukningen med en rekuperator?	40
5.4.2	Hur mycket minskar bränsleförbrukningen?.....	40
5.5	Avgaspanna.....	40
5.6	Spjäll och skorsten	41
6	UGNENS FUNKTION.....	42
6.1	Mätning av ugnens funktion.....	42
6.1.1	Temperaturer	43
6.1.2	Flöden.....	44
6.1.3	Mätning av avgasernas sammansättning	44
6.1.4	Ugnstryck	44
6.2	Ugnens reglering	44
6.2.1	Zontemperaturer	45
6.2.2	Kvotreglering	46
6.2.3	Ugnstryck	46
6.2.4	O ₂ -reglering.....	46
6.2.5	FOCS.....	46
6.2.6	Reglering av elugnar	47
6.3	Energibalans.....	47
6.3.1	Krav på energibalansen	47
6.3.2	Vilken nytta kan man ha av en energibalans?	47
6.3.3	Exempel på energibalans.....	47
6.4	Viktigt för effektiv ugnsdrift	49
6.4.1	Ugns längden.....	49
6.4.2	Härdareatäckning	49
6.4.3	Produktionstakt/optimal värminingskurva	49
6.4.4	Korrekt ugnstryck.....	49

6.4.5	Bra reglersystem.....	50
6.4.6	Produktionsplanering	50
7	MEDIAFÖRSÖRJNING	50
7.1	Elenergi	50
7.2	Ånga	52
7.3	Hetvatten	54
7.4	Syrgas	55
7.4.1	Fördelar	55
7.4.2	Produktion	55
7.4.3	Användning av syrgas	56
7.4.4	Säkerhetsaspekter	56
7.5	Tryckluft.....	56
7.5.1	Hur produceras tryckluft?.....	56
7.5.2	Vad används tryckluften till?	57
7.5.3	Energiaspekter	57
7.5.4	Viktigt budskap	58
7.6	Kylvatten.....	58
7.6.1	Energiaspekter	59
7.7	Skyddsgas	59
8	MATERIALPLANERING OCH ENERGISTATISTIK.....	61
8.1	Övergripande materialplanering	61
8.2	Energistatistik för ugnar	62
8.3	Energistatistik för pannor.....	63

Energi och ugnsteknik, del 7

1 Grundläggande om energi



Figur 7-1:0

1.1 Energi i olika former

1.1.1 Vad betyder energi?

Ordet **energi** betyder **arbete** och kommer från det grekiska språket.

Fakta:
Energi kan inte förstöras
All energi blir värme till slut
Värme går från **varmt** till **kallt**

Energiformer:

- Elektrisk
- Värme
- Kemisk
- Läges
- Mekanisk
- Rörelse

Figur 7-1:1

1.1.2 Var finns energi?

Energi är svår att beskriva eftersom den inte syns. En skiftnyckel däremot är lätt att beskriva; den kan man se och ta på. Energi finns dock i flera olika former som t ex:

- Elektrisk energi som kan tas ut från elnätet
- Kemisk energi i form av olja, bensin, gasol, ved etc.
- Mekanisk energi, t ex en roterande axel på en elmotor
- Värme i varmvatten, i varma stålämnen, i varma avgaser etc.
- Lägesenergi, när något befinner sig högre än omgivningen, t ex vatten i dammen ovanför ett vattenkraftverk
- Rörelseenergi, hos en massa som rör sig, t ex en bil eller strömmande vatten

En skiftnyckel kan innehålla flera av de ovan angivna energiformerna. Om den är varmare än omgivningen har den en viss värmeenergi, om den ligger på ett bord har den lägesenergi ty energi frigörs om den faller till golvet. Den har rörelseenergi om den kastas iväg.

1.1.3 Viktigt om energi – generellt

Det finns några viktiga sanningar om energi:

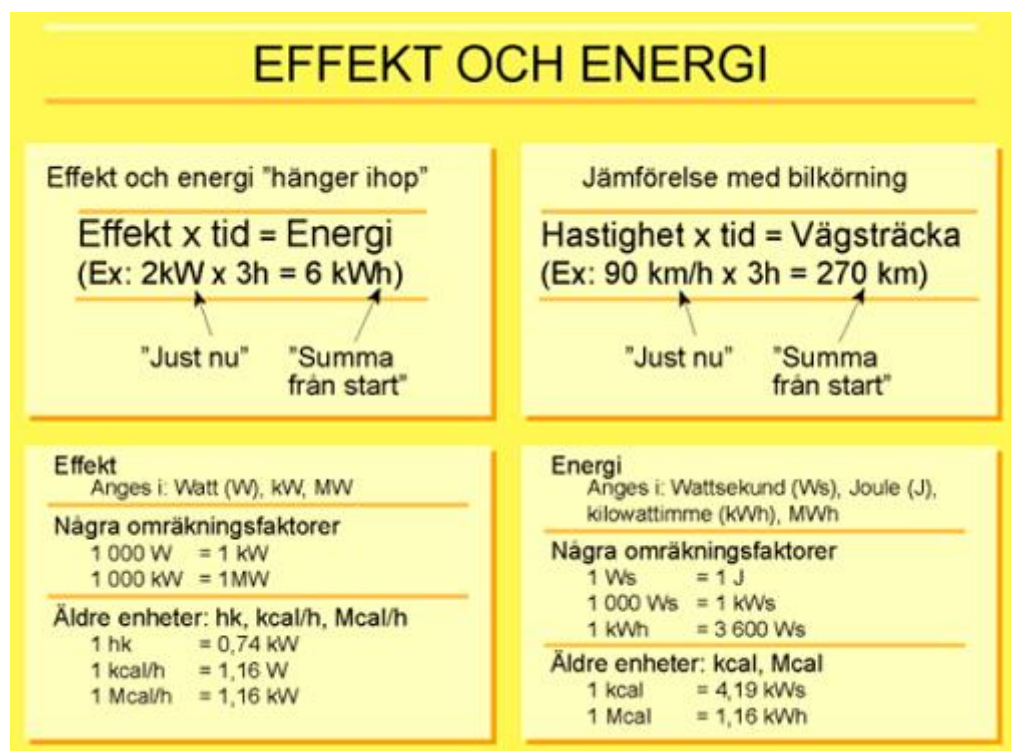
1. Energin kan inte förstöras – bara omvandlas
2. All energi omvandlas förr eller senare till värme
3. Värme går av sig själv från en högre till en lägre temperatur, dvs från "varmt" till "kallt"

1.1.4 Effekt och energi?

Effekt och energi är två begrepp som brukar vara svåra att skilja på. Kort kan man säga att effekt anger "energi per tidsenhet". Sambandet som gäller är:

$$\text{flöde} \cdot \text{tid} = \text{volym} \quad (\text{jämför med: effekt} \cdot \text{tid} = \text{energi})$$

Jämför med fallet att man fyller en hink med vatten. Vattenflödet genom slangen i liter per sekund (l/s) motsvarar då effekten, och antalet liter vatten i hinken, dvs vattenvolymen, motsvarar energin. (Sorterna är: l/s · s = l)



Figur 7-1:2

1.1.4 Hur mäts effekt och energi?

Det finns många olika sorter som kan användas för att ange effekt och energi. De vanligaste grundenheterna för energi är **joule**, J, som är detsamma som **watt-sekund**, Ws. Dessa enheter är dock mycket små och därför används enheter som är mycket större.

Kilojoule, kJ, eller kilowattsekund, kWs, är 1000 ggr större än grundenheterna. Mega-joule, MJ, är 1 000 000 ggr större än grundenheten.

Elektrisk energi mäts i **watt-timmar**, Wh, (timmar förkortas med h som kommer från engelskans hour). En timme är ju 3600 sekunder, och därför är 1 Wh = 3600 Ws. En 1000 ggr större enhet är kilowatt-timme, kWh, och en enhet som är 1 000 000 ggr större är megawatt-timme, MWh.

Enheten kWh används ofta även för andra energislag än el, eftersom det i många fall är praktiskt att räkna i kWh.

Exempel: En elmotor på 50 kW som är i drift under 10 h använder energin 500 kWh, vilket är detsamma som 0,5 MWh.

1.1.5 Det är skillnad på el och värme

Elenergi är den mest användbara energiformen. El kan t ex användas för belysning, för att driva elmotorer och för att värma till höga och låga temperaturer. Kemisk energi och värme kan t ex inte direkt användas för normal belysning inom industrin.

1.1.6 Några exempel

Effekter och energier är inte alls lika påtagliga som t ex ett ton stål. Några enkla exempel kan därför vara till hjälp för att få en uppfattning om energimängder i saker man ser vid en ugn.

Vid förbränning frigörs följande värmemängder:

1 kg olja	ger	ca 41 MJ	eller	11,4 kWh
1 kg gasol	ger	ca 46 MJ	eller	12,8 kWh
1 kg kol	ger	ca 27 MJ	eller	7,6 kWh

Vid kylning till 20°C frigörs från 1 ton stålämnen vid 1100°C ca 720 MJ värmeenergi.

Som exempel kan även nämnas att en normal villa använder ca 90 000 MJ (= 25 000 kWh) per år för uppvärmningen. En större värmningsugn kan göra av med denna energimängd på några få timmar!

Även för **effekter** kan det vara bra med några exempel:

- * En spisplatta har en effekt på ca 1 kW.
- * En villa drar ca 10 kW värmeeffekt när det är kallt ute.
- * En större värmningsugn kan eldas med effekten 10 000 kW, och oljeförbrukningen uppgår då till ca 1 kubikmeter per timme.

1.2 Energiomvandlingar

Det är faktiskt så *att energi inte kan skapas eller förstöras utan endast omvandlas. All energi blir värme till slut.* Vad finns det då för omvandlingar?

ENERGIOMVANDLINGAR

I alla omvandlingar gäller:

$$\text{Tillförd energi} = \text{Bortförd energi}$$

$$\text{Nyttig energi (i \%)} + \text{förluster (i \%)} = 100\%$$

$$\text{Verkningsgraden } h \text{ q} = \frac{\text{Nyttig energi}}{\text{Tillförd energi}}$$

Några exempel på verkningsgrader:

Oljepanna	70%
Elpanna	90%
Liten elmotor	50%
Stor elmotor	90%
Värmugn	5-90%

Figur 7-1:3

1.2.1 Energiomvandling i dagliga livet

I t ex en bil sker många olika energiomvandlingar. När bensen förbränns i cylindrarna omvandlas bensen kemiska energi till värmeenergi. Den volymökning som sker av gasen i cylindrarna omvandlas till en mindre del till mekanisk energi som driver bilen (via kolv, vevaxel, växellåda, axlar, kardan och vidare ut till hjulen). Den största delen av bensen omvandlas dock till värmeenergi som kyls bort via kylaren.

När bilens fart ökar omvandlas den mekaniska energin som driver hjulen till rörelseenergi hos bilen. Friktion mot luften omvandlar en del av energin till värme i omgivande luft. Vid bromsning omvandlas rörelseenergi till värme i bromsarna. Det märks genom att skivorna och bromsbelägg blir heta.

Även Du själv omvandlar energi just nu! Energin (man brukar tala om kalorierna) i den mat Du har ätit omvandlas till energi i kroppen, och gör att Du kan hålla kroppstemperaturen på 37°C, vilket är högre än rumstemperaturen på ca 20°C. Du avger just nu ca 70 Watt värmeenergi till omgivningen.

1.2.2 Energiomvandling i anslutning till ugnar

Den största energiomvandlingen vid en ugn sker när bränslets kemiska energi, i t ex olja, omvandlas till värme genom förbränningen. Värmen i lågan omvandlas till värmestrålning och till heta avgaser. Energi överförs både till ugnsväggar och till det material som skall värmas i ugnen. I elektriska ugnar omvandlas elenergi till värme i motståndselementen som börjar glöda. Dessa avger värme i ugnen. (I senare avsnitt diskuteras energiomvandling i ugnar mer detaljerat.)

1.2.3 Verkningsgrad vid energiomvandling

Det finns förluster vid alla energiomvandlingar. Med begreppet verkningsgrad anger man hur stor del av den tillförda energin som omvandlas till "nyttig" energi. Om hälften av energin blir nyttig energi talar man om en verkningsgrad på 50 %.

Generellt gäller: **Nyttig energi (%) + förluster (%) = 100 %**

I ugnsfallet vill man värma ämnen. Det bästa vore förstås, om all energi som tillförs ugnen kunde omvandlas till värmeenergi i ämnen, men detta är dock omöjligt. Med verkningsgraden kan man alltså ange hur stor del av bränslets energi som omvandlas till värme i ämnen.

En verkningsgrad på 40 % betyder alltså att 40 % av bränslets kemiska energi blivit värme i ämnen, medan 60 % har omvandlats till annan energi, t ex i avgaser, kylvatten, varma ugnsväggar, förluster genom luckor etc.

Verkningsgrader i ugnar kan variera kraftigt beroende på ugnens värmningssätt, driftförhållanden mm. (Se senare kapitel.)

Exempel på verkningsgrader:

Oljeeldad villapanna	70 %
Elpanna	90 %
Elmotor, liten	50 %
Elmotor, stor	90 %
Ugn	5-90 %

1.3 Värmeöverföring – allmänt

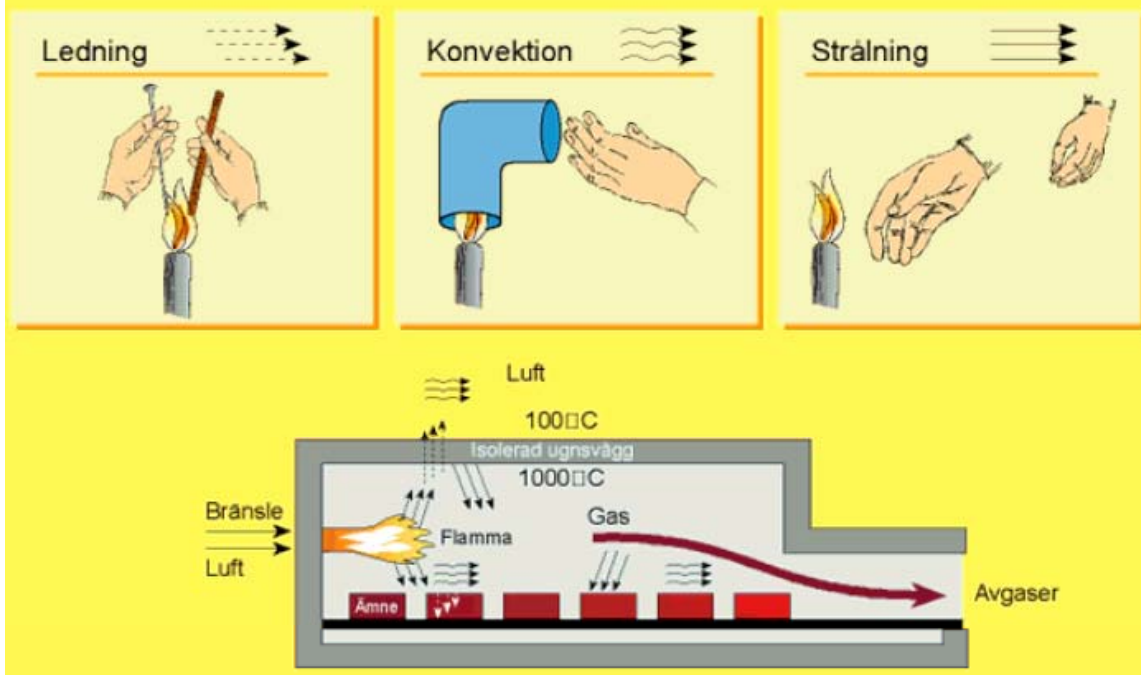
Värme kan överföras från ett föremål till ett annat på olika sätt. Dessa kallas för **ledning**, **konvektion**, **strålning** samt **förångning** och **kondensation**. Förångning och kondensation är normalt inte aktuella i ugnar och tas inte upp i fortsättningen.

I verkligheten, t ex i ugnsrum, sker värmeöverföringen normalt genom en kombination av de tre sätten ledning, konvektion och strålning. Nedan förklaras de tre olika sätten genom att studera några olika värmeöverföringsförlopp, när värme går in i en bastu som är 90°C varm.

Rent allmänt gäller att värmen alltid går från "varmt" till "kallt". Ju större temperaturskillnaden mellan "varmt" och "kallt" är, desto mer värme överförs.

Fråga: Hur är det möjligt att vistas i en bastu som är 90°C? I vatten som är 90°C överlever man ju inte. Svar: Det beror på den dåliga värmeöverföringen i bastun.

VÄRMEÖVERFÖRING



Figur 7-1:4

1.4 Värmeöverföring genom ledning

Värmeledning innebär en värmetransport inom ett fast material från molekyl till molekyl. Som du säkert märkt är stål en bra värmeledare. Om man värmer t ex ett stålrör i ena änden, så sprids värmen snabbt längs röret, så att hela röret blir varmt. Om man däremot värmer eller sätter eld på en träbit i ena änden, så sprids värmen mycket sakta genom träbiten. Trä är en dålig värmeledare.

Det är just trämateriallets dåliga värmeledning som är förutsättningen för att vi skall kunna sitta i en het bastu. När vi sätter oss känns bänken het bara en kort stund. Det beror alltså på att den heta bänken avger värmen från träytan, som vi sitter på, till vår hud. Värme som ju även finns inne i träet leds endast mycket långsamt ut till den yta vi sitter på och vi upplever att träbänken svalnar snabbt sedan vi väl satt oss ned.

Vad skulle hända om du satte dig på en bänk gjord av plåt i stället?

För att minska den värme som läcker ut genom väggarna på en ugn är dessa klädda med material med dålig värmeledningsförmåga. Sådana material kallas isolermaterial.

Ett materials förmåga att leda värme anges med ett s k värmeledningstal, λ , som uttalas *lambda*. I tabellen nedan ges några exempel på detta tal för några olika material.

Material	Värmeledningstal, λ $W/(m \cdot ^\circ C)$	I förhållande till värdet för kolstål
Koppar	400	8,9
Kolstål	45	1
Rostfritt stål	15	0,33
Tegel	1,5	0,03
Trä	0,2	0,004
Mineralull	0,05	0,001

Som synes är det mycket stor skillnad i värmeledningsförmåga hos olika material. Värmeledningsförmåga och elektrisk ledningsförmåga går "hand i hand". Material som leder ström bra, t ex koppar, leder också värme bra.

Varför har rostfria kastruller ofta en botten av koppar?

1.5 Värmeöverföring genom konvektion

Konvektion är det värmeutbyte som uppstår när gas eller vätska strömmar förbi en yta. Värmeutbytet sker *mellan* olika media. Om varm luft strömmar mot Dig känns det varmt. Luften avger värme och hela tiden kommer ny varm luft som ersätter den luft som redan avgivit värme.

I bastun kommer den varma luften, 90°C, att avge värme till din hud. Värmeöverföringen genom konvektion i bastun är låg, och därför kan man vistas i bastun relativt lång tid utan att bli "överhettad". Kroppstemperaturen ökar dock sakta hela tiden. Värmeöverföringen genom konvektion kan förbättras kraftigt genom ökad lufthastighet. Det kan du känna om du blåser på armen – då bränns det genast.

Värmeöverföringen anges med ett värmeövergångstal, α , som uttalas *alfa*. I tabellen nedan ges några exempel på rimliga storleksordningar. (Verkliga värden varierar kraftigt med aktuella strömningsförhållanden).

Vid konvektion brukar man tala om **egenkonvektion** och **påtvingad konvektion**. Egenkonvektion betyder att luften/vätskan strömmar av sig själv. Drivkraften är att varm luft stiger uppåt (som när varm luft stiger uppåt från ett stearinljus). Motsatsen är påtvingad konvektion när man har en fläkt eller pump för att öka strömningshastigheten.

Typ av strömning	Värmeövergångstal, α $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$	I förhållande till värdet för egen- konvektion i luft
Egenkonvektion luft	5	1
Egenkonvektion vatten	500	100
Vattenströmning i rör (5 m/s)	23 000	4 600
Kokning, vatten	25 000	5 000

Som synes är det mycket stor skillnad i värmeövergångstalen vid olika förhållanden.

Om Du befinner Dig i en bastu, där temperaturen är 90°C, och skulle råka sätta ner fingret i vatten, som är 90°C, erhålls en dramatiskt ökad värmeöverföring genom konvektion, från 5 till 500 (se tabellen ovan). Resultatet blir att huden på fingret snabbt värms till närmare 90°, och Du får en brännskada.

Vid en varm ugnsvägg finns också en tydlig egenkonvektion. Du ser den om Du t ex håller en glödande cigarett några centimeter från väggen. Röken stiger snabbt uppåt. Den varma väggen värmer luften strax utanför väggen. Varm luft är lättare än kall luft och stiger därför uppåt.

Ämnen som matas in i värmningsugnar går först in i en ugnsdel utan brännare, den s k mörkzonen. Där avger de varma ugnsgaserna, genom **konvektion**, värme till de inkommande kalla ämnena. Avgaserna lämnar sedan ugnen genom skorstenen.

1.6 Värmeöverföring genom strålning

Alla föremål har ett värmeutbyte genom strålning med omgivningen. I bastun kan man tydligt känna strålningen genom att föra handflatan allt närmare bastuaggregatets heta värmeelement. Det blir hetare och hetare i handflatan men inte på baksidan av handen. Det beror på att baksidan av handen är i "skugga" för värmestrålarna; jämför vanlig belysning och skuggor.

Strålningsvärme kan överföras utan hjälp av något medium (gas eller vätska). Därför värms material med strålning i vakuumugnar.

Ett praktiskt exempel på strålningsvärme inom stålindustrin är den värme man känner, när man är i närheten av varmt material, som t ex ämnen som matas ut från värmningsugnen. Ett annat tydligt ugnsfall är när man tittar in i ugnen genom en öppen lucka. Då är det enbart värmestrålningen man känner i ansiktet.

Värmestrålningen är mycket starkt beroende av temperaturen på ämnena. Som exempel kan nämnas att ämnen som har temperaturen 1000°C strålar med 40 gånger högre effekt än samma ämnen vid 400°C .

Strålningsvärmens avtar med avståndet från strålningskällan. Om avståndet fördubblas minskar strålningsvärmens med en faktor 4.

I ugnsrum, där material värms före valsning, är det ofta strålningen från valv, väggar m m som dominerar värmeöverföringen.

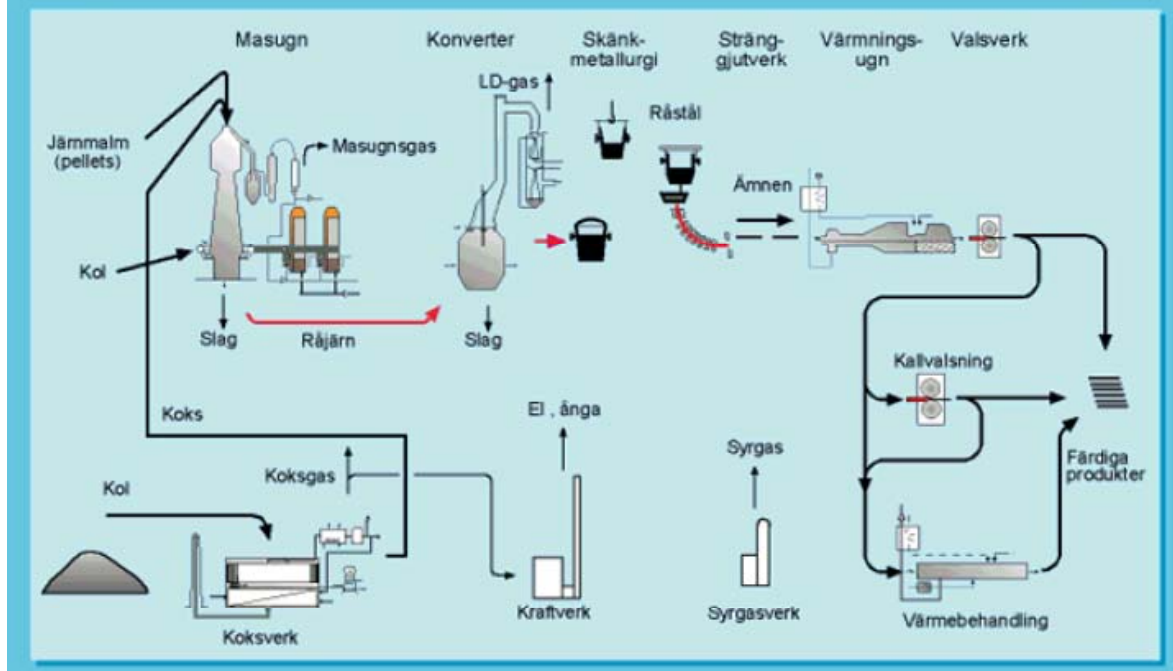
Anm: I sk pyrometrar, som kan mäta temperatur på föremål utan att ha direktkontakt med föremålet, är det strålningsintensiteten som pyrometern känner av.

2 Produktionsvägar och energiflöden

2.1 Från malm till stål

Järnmalm är järnoxid, dvs en kemisk förening mellan järn och syre. Omvandlingen från järnmalm till stål innebär bl a att järnet och syret måste skiljas åt. Detta kräver flera olika processer. I figur 7-2:1 visas de viktigaste stegen schematiskt.

FRÅN MALM TILL STÅL



Figur 7-2:1

2.1.1 Koksverk

Ett koksverk består av en lång rad smala, höga ugnar. I koksverket upphettas kol i ugnar, 50–100 st, till cirka 1000°C, utan att luft kommer i kontakt med kolet. Värmen kommer från eldning av gas på utsidan av ugnsväggarna. Gaser från kolet avgår och samlas upp och blir till koksugns-gas, som är ett bra bränsle. Det glödande kolet trycks ut från ugnarna och ner i vagnar. Dessa körs in i ett skivsläktorn, där stora mängder vatten spolas på kolet. Det bildas ett stort ångmoln, som kan ses på långt håll. Den kalla koksen används i masugnen.

2.1.2 Masugn

I masugnen används koks, med tillsats av kol och ev olja, som reduktionsmedel. I masugnen värms malm i form av pellets, små runda kulor, och andra tillsatser till cirka 1600°C. Vid höga temperaturer kan kolatomer från reduktionsmedlet ta upp syre från järnoxiden i pellets, och flytande råjärn och slag samlas i botten och tappas ur ugnen. Råjärnet som innehåller ca 4,5 % kol transporteras till LD-konvertern. Slaggen är en restprodukt.

2.1.3 LD-konverter

För att järnet skall bli användbart måste kolhalten sänkas ordentligt. Detta görs genom att tillföra syrgas till råjärnet och därigenom förbränna kolet i råjärnet. Energin som frigörs genom förbränningen gör att temperaturen stiger. Skrot tillförs då konverter, dels för begränsa temperaturstegringen, dels för att öka stålproduktionen. Efter LD:n har råjärnet blivit råstål med en kolhalt på cirka 0,1 %.

2.1.4 Stränggjutning

Det flytande råstålet gjuts i en lång sträng som kapas till ämnen i lämpliga längder. Strängens tvärsnitt anpassas så bra som möjligt till formen på de slutliga produkterna. För t ex bandproduktion gjuts platta ämnen.

2.1.5 Värmugn

Ämnen som skall valsas inom verket måste först värmas till valsningstemperatur, ca 1200°C, före valsningen. Denna värmning görs i värmningsugnar som kan eldas med bränslen (gasol, olja, naturgas, koksugns gas) eller värmas med el, vilket är mindre vanligt.

2.1.6 Efterbehandling

För att ge det valsade materialet önskade egenskaper värms materialet i *värmebehandlingsugnar*, som även de värms med bränsle eller el. I dessa ugnar är el-värmning vanlig. Före leverans kan stålet bearbetas och behandlas på olika sätt allt efter kundernas önskemål.

2.2 Energiflöden i malmbaserat verk

2.2.1 Energitillförsel

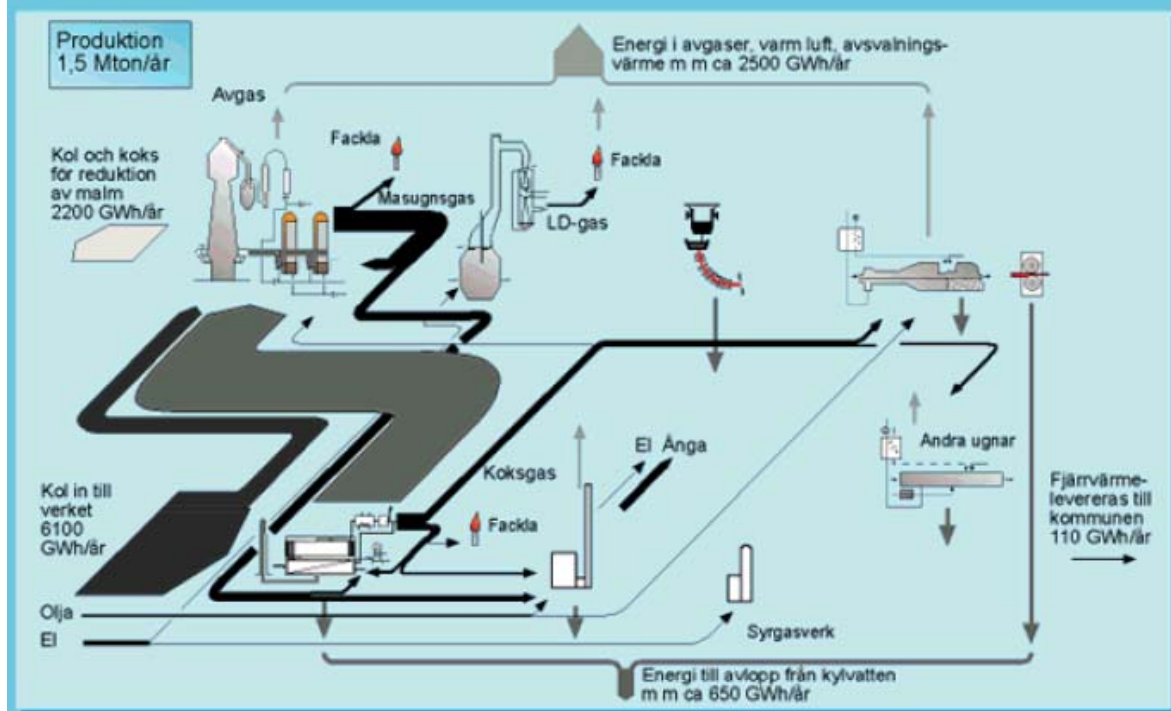
I ett järn- och stålverk, som producerar stål från järnmalmspellets, måste mycket stora mängder reduktionsmedel, främst i form av kol, tillföras verket för att järn- och stålprocesserna skall fungera. Det är alltså för processerna som kol tillförs. I processerna uppstår dock biprodukter i form av brännbara gaser, som används som bränsle inom verket. Koltillförseln är ca 0,6–0,7 ton kol per ton råjärn

Exempel på inköp under ett år till ett verk:

Elenergi	400 000 MWh
Kol	700 000 ton (motsvarande 6 370 000 MWh)
Olja	15 000 m ³ (motsvarande 162 000 MWh)

Energiinnehållet i det tillförda kolet är mycket stort och utgör ca 92 % av den tillförda energin till verket. Cirka 6 % utgörs av elenergi och ytterligare 2 % av bränslen som olja och/eller gasol. Det är alltså kolet som dominerar helt. Elproduktion som kan tillgodose åtminstone en del av elbehovet finns normalt i anslutning till ett verk. Resten av elenergin köps utifrån.

ENERGIFLÖDEN I MALMBASERAT VERK



Figur 7-2:2

2.2.2 Gas från processerna är viktiga bränslen

Det finns tre processer, där kol omvandlas till brännbar gas. Dessa gaser är mycket viktiga bränslen inom verket.

Koksugns gas

Vid uppvärmningen av kolet i koksverket avgår gaser från kolet. Dessa s k koksugns gas samlas upp i ett gassystem. Gasproduktionen uppgår till ca 300–350 normalkubikmeter (gasvolym vid 0°C och 1 bar) gas per ton kol. Gasen används som bränsle i koksverket för att värma upp kolet till ca 1000°C, i ugnar, i pannor, i skänkvärmare, i varmapparater i anslutning till masugn etc.

Masugns gas

I masugnen bildas stora mängder masugns gas, ca 1500 normalkubikmeter per ton råjärn. Även masugns gasen kan användas som bränsle inom verket. Den är dock ett mer lågvärdigt bränsle än koksugns gasen. Masugns gas används t ex som bränsle i varmapparater och för undereldning i koksverk.

LD-gas

Vid omvandlingen av råjärn till råstål i LD-konvertern avgår LD-gas, ca 125 normalkubikmeter per ton råstål. Även LD-gasen kan användas som bränsle i t ex pannor. Gasen produceras dock i stora mängder under korta tider, ca 15 minuter per timme. Den är därför relativt svår att ta hand om.

Det finns separata rörnät för distribution av de olika gaserna inom verket.

2.2.3 Elanvändning

Elenergi används på tusentals ställen inom verket. Stora elanvändare är syrgasverk, elmotorer för blåsmaskiner (för transport av luft in i masugnen), valsverksmotorer, tryckluftkompressorer, kylvattenpumpar etc.

2.2.4 Bränsleanvändning

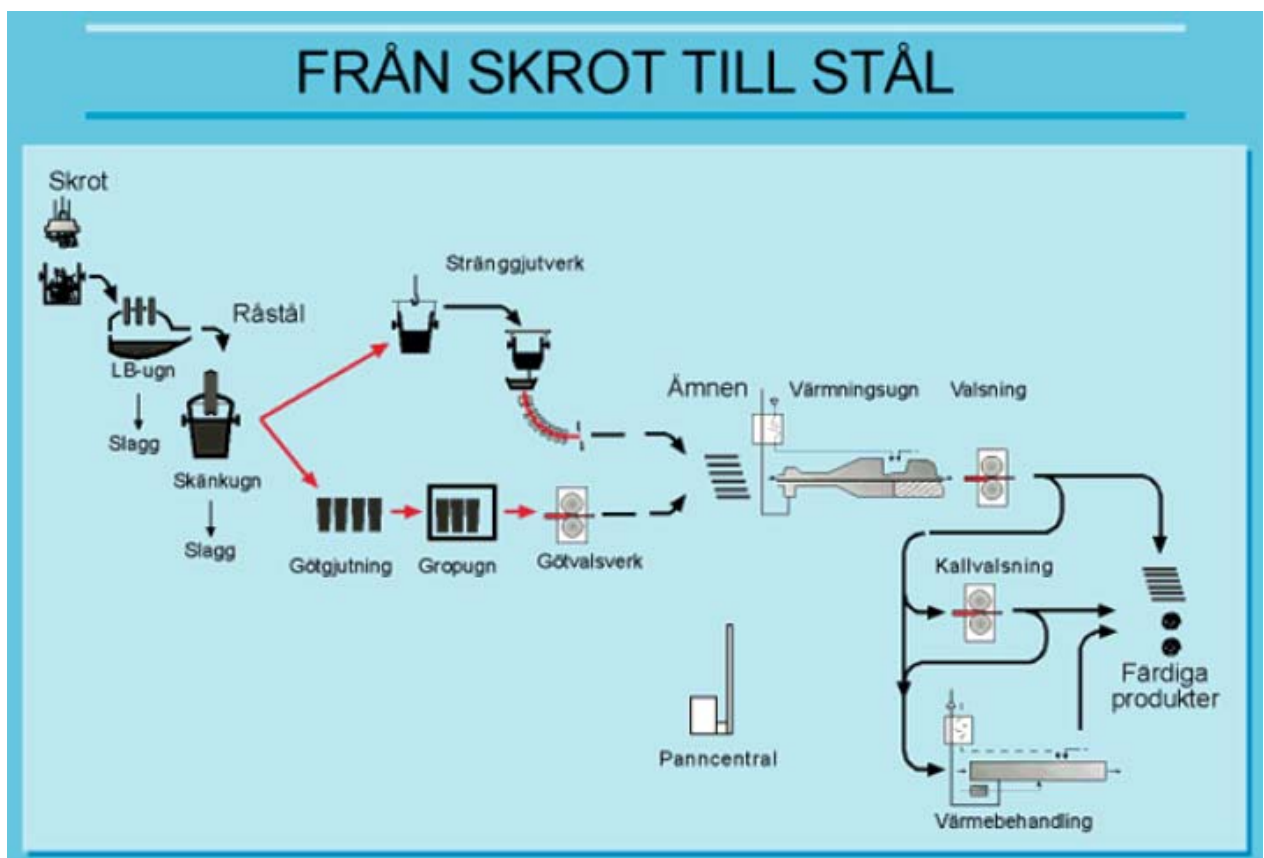
Största bränsleanvändningen sker i varmapparaterna, vid undereldningen i koksverk, i kraftverks-pannor och i ugnar.

2.2.5 Energibortförsl

All energi som tillförs verket måste även bortföras. I ett studerat malmbaserat verk åtgick ungefär 33 % av den tillförda energin för att reducera malmen till järn. Cirka 13 % lämnade verket i form av brännbara gaser som användes för el- och värmeproduktion i ett kraftverk. Resten av energin, 54 %, lämnade verket i form av ljummet kylvatten, varm luft, avgaser, flytande slagg, ångor, gasfacklor etc.

2.3 Från skrot till stål

För att omvandla skrot till stål används elektriskt värmda ljusbågsugnar. I figur 7-2:3 visas de viktigaste stegen schematiskt.



Figur 7-2:3

2.3.1 Ljusbågsugn

Skrot som verket köpt, tillsammans med skrot från den egna tillverkningen, sätts in (chargeras) i en ugn. Ugnsens valv med tre stycken elektroder av grafit (kol) sätts på plats över ugnen. Elek-

triciteten kopplas på, och ljusbågar uppstår mellan elektroderna och till skrotet. Värmen från ljusbågarna gör att skrotet smälter. Temperaturen på det smälta skrotet är ca 1600°C.

De heta avgaserna från ljusbågsugnen används ofta för att förvärma ingående skrot till ugnen.

2.3.2 Skänkugn

Det flytande stålet från ljusbågsugnen tappas i en behållare, s k skänk, som transporteras till en skänkstation. Där finns utrustning för att "finjustera" sammansättning och temperatur på stålet, innan det går till gjutningen.

2.3.3 Konverter

Vid produktion av rostfritt stål används en konverter i stället för skänkugn för att ge stålet rätt sammansättning och temperatur före gjutningen.

2.3.4 Stränggjutning

Det flytande råstålet gjuts till ämnen i en s k stränggjutningsanläggning.

2.3.5 Värmugn

Ämnen som skall valsas inom verket måste värmas till valsningstemperatur, ca 1200°C, före valsningen. Denna värmning görs i värmningsugnar som kan eldas med bränslen (gasol, olja, koksugns gas) eller värmas med el (mindre vanligt).

2.3.6 Efterbehandling

För att ge det valsade materialet önskade egenskaper värms materialet i värmebehandlingsugnar, som även de värms med bränsle eller el. I dessa ugnar är elvärmning vanlig.

Före leverans kan stålet bearbetas och behandlas på olika sätt allt efter kundernas önskemål.

2.4 Energiflöden i skrotbaserat verk

2.4.1 Energitillförsel

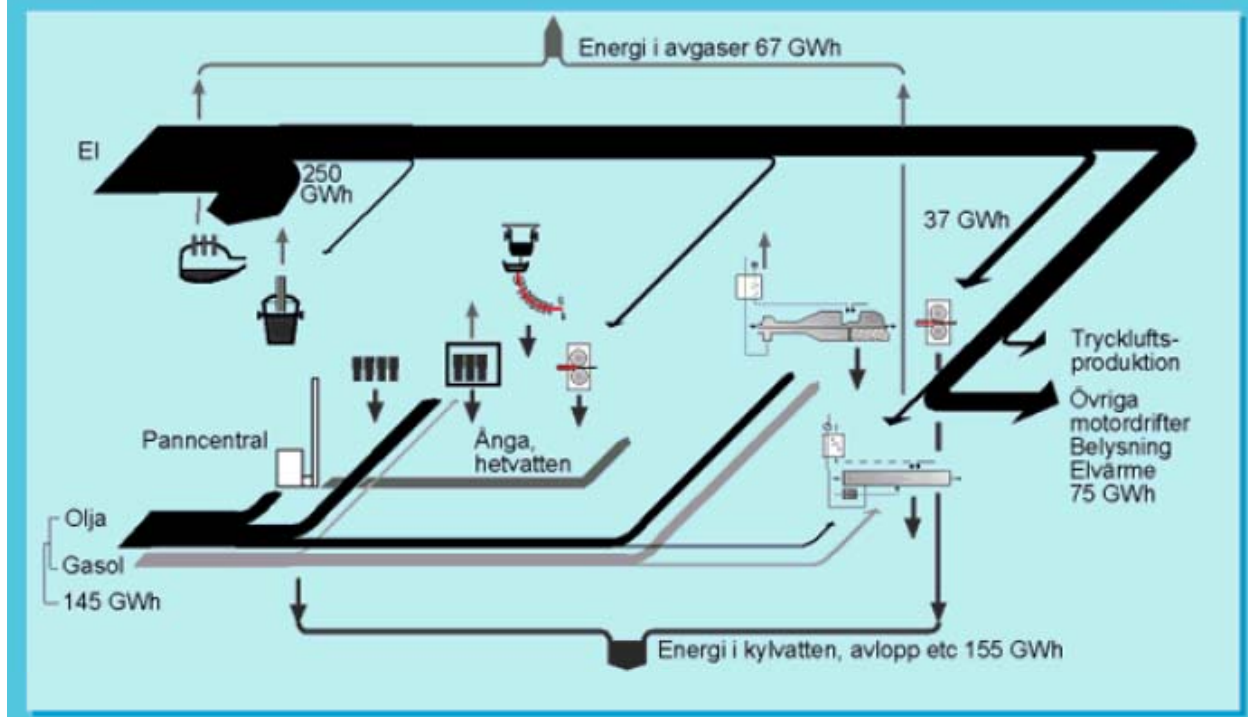
I ett skrotbaserat verk är det elenergin som är det viktigaste energislaget. Eftersom skrot är metalliskt behöver inte processtegen för reduktion av järnoxid med kol genomföras.

Bränslen i form av olja eller gasol köps in och används i ugnar och pannor.

Exempel på inköp under ett år till ett större verk:

Elenergi	300 000 MWh
Olja	10 000 m ³ (motsvarande 108 000 MWh)
Gasol	5 000 ton (motsvarande 64 000 MWh)

EXEMPEL PÅ ENERGIFLÖDEN I SKROTBASERAT VERK



Figur 7-2:4

2.4.2 Elanvändning

Den klart största elanvändningen sker i ljusbågsugnen för att smälta skrotet. Ljusbågsugnen kan ha eleffekter upp till 80 000 kW. Det åtgår 450-600 kWh elenergi för att smälta ett ton skrot. Spänningen i ugnen är upp till ca 500 volt, medan strömmen är mycket hög, upp till ca 80 000 ampere. Frekvensen är 50 Hz.

Effekten 80 000 kW är mycket stor. Om man räknar med att en elvärmad villa drar ca 10 kW, när det är kallt ute, så räcker eleffekten i ljusbågsugnen till för att hålla 8 000 villor varma.

Elenergin som åtgår i ljusbågsugnen för en enda charge på 75 ton skulle räcka för att värma två villor under ett helt år.

2.4.3 Bränsleanvändning

Bränsle används främst i värmnings- och värmebehandlingsugnar samt pannor. Även i ljusbågsugnar används bränsle i sk oxy-fuelbrännare. I dessa förbränns bränsle med syrgas i speciella brännare, som går in i ugnen och hjälper till att smälta skrotet så snabbt som möjligt. Även vissa mängder kol tillsätts i ljusbågsugnen (vid produktion av kolstål) för att åstadkomma en skummande slag, som bidrar till lägre elanvändning i ugnen.

2.4.4 Energibortförel

All energi som tillförs verket måste lämna verket på ett eller annat sätt. Energin bortförs från verket med varma avgaser från ugnar och pannor, med kylvatten, med ventilationsluft, genom värmeförluster i väggar mm. Flera verk säljer även värme till kommunernas fjärrvärmenät.

3 Förbränning av bränslen

3.1 Bränslen inom stålindustrin

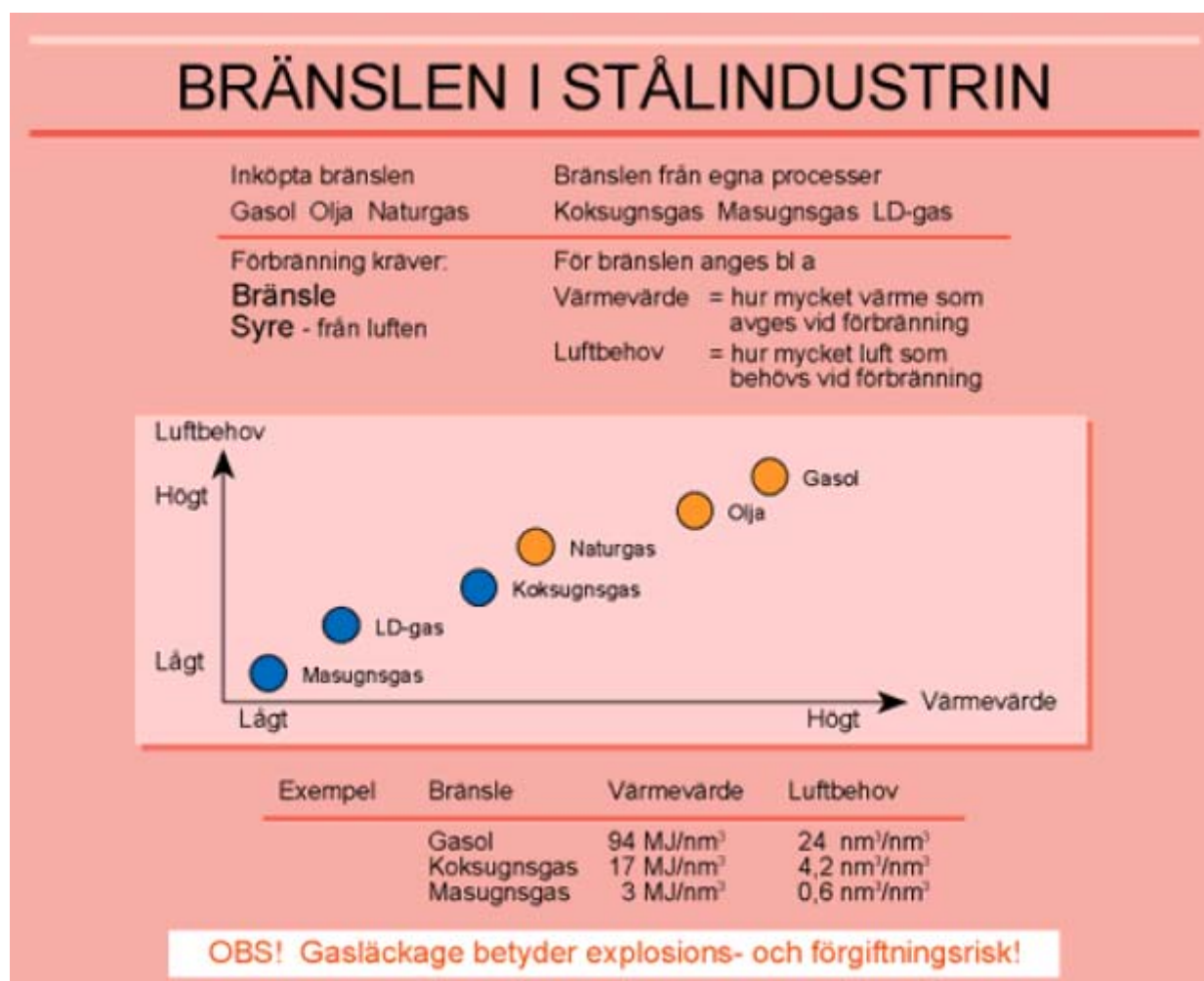
Inom stålindustrin används vanliga bränslen som olja och gasol i olika kvaliteter. Dessutom finns det inom verken i Luleå och i Oxelösund även "egna" bränslen, som inte förekommer på andra svenska industrier. Dessa är koksugns gas, masugns gas och LD-gas och bildas i olika processer vid stålframställningen.

3.1.1 Några data om bränslen

När bränslen förbränns frigörs energi. För varje bränsle anges ett tal som kallas "värmevärde". Detta talar om hur mycket kemisk energi som bränslet innehåller per måttenhet som kg, ton, nm^3 etc. (nm^3 betyder normalkubikmeter dvs en m^3 vid 0°C och 1 bar).

Värmevärdet beror på hur mycket kol och/eller väte som bränslet innehåller. Värmevärdet för rent kol är 33,2 MJ/kg och för väte 120,1 MJ/kg.

Vid förbränningen behövs syre. Normalt tas syret från luften och då behövs det en viss mängd luft per kg eller m^3 bränsle för att en fullständig förbränning skall kunna ske. Om mindre luft tillförs, räcker inte syret i luften för att förbränna allt bränsle. Om mera luft tillförs, passerar den genom brännaren utan att delta i förbränningen.



Figur 7-3:1

I tabellen nedan ges några huvuddata för de viktigaste bränslena inom stålindustrin.

Bränsleslag	Värmevärde	Luftbehov vid perfekt förbrukning
Villaolja	42,7 MJ/kg	10,9 nm ³ luft/kg olja
Tjockolja	41,4 MJ/kg	10,6 nm ³ luft/kg olja
Gasol	46 MJ/kg	11,5 nm ³ luft/kg gasol
Naturgas	ca 39 MJ/nm ³	10,5 nm ³ luft/nm ³
Koksugns gas	ca 17 MJ/nm ³	4,2 nm ³ luft/nm ³ k-gas
Masugns gas	ca 3 MJ/nm ³	0,6 nm ³ luft/nm ³ m-gas
LD-gas	ca 7 MJ/nm ³	1,3 nm ³ luft/nm ³ LD-gas

Varningar:

- Gasformiga bränslen, som vid ev gasläckage blandas med luft i en ugn eller i en lokal, kan bilda explosiva gasblandningar.
- Brännbara gaser innehåller ofta koloxid. Det finns risk för förgiftning!

3.2 Förbränningsförloppet

Förbränningsförloppet i bränsleeldade ugnar kan variera beroende på brännartyp. Valet av brännare till en viss ugn är alltså viktigt för att få den mest effektiva värmningen.

Jämförelse: Man väljer inte en F1-racer för att åka till shoppingcentret utan i stället en bil anpassad för shopping.

Ett litet ugnsrums kräver ett snabbt förbränningsförlopp och därmed kort flamma medan däremot ett stort ugnsrums kan klara sig med ett långsammare förlopp och längre flamma. Brännaren i första fallet kräver i regel högre lufttryck och bättre flamhållning.

3.2.1 Hur ser förbränningsförloppet ut rent principiellt?

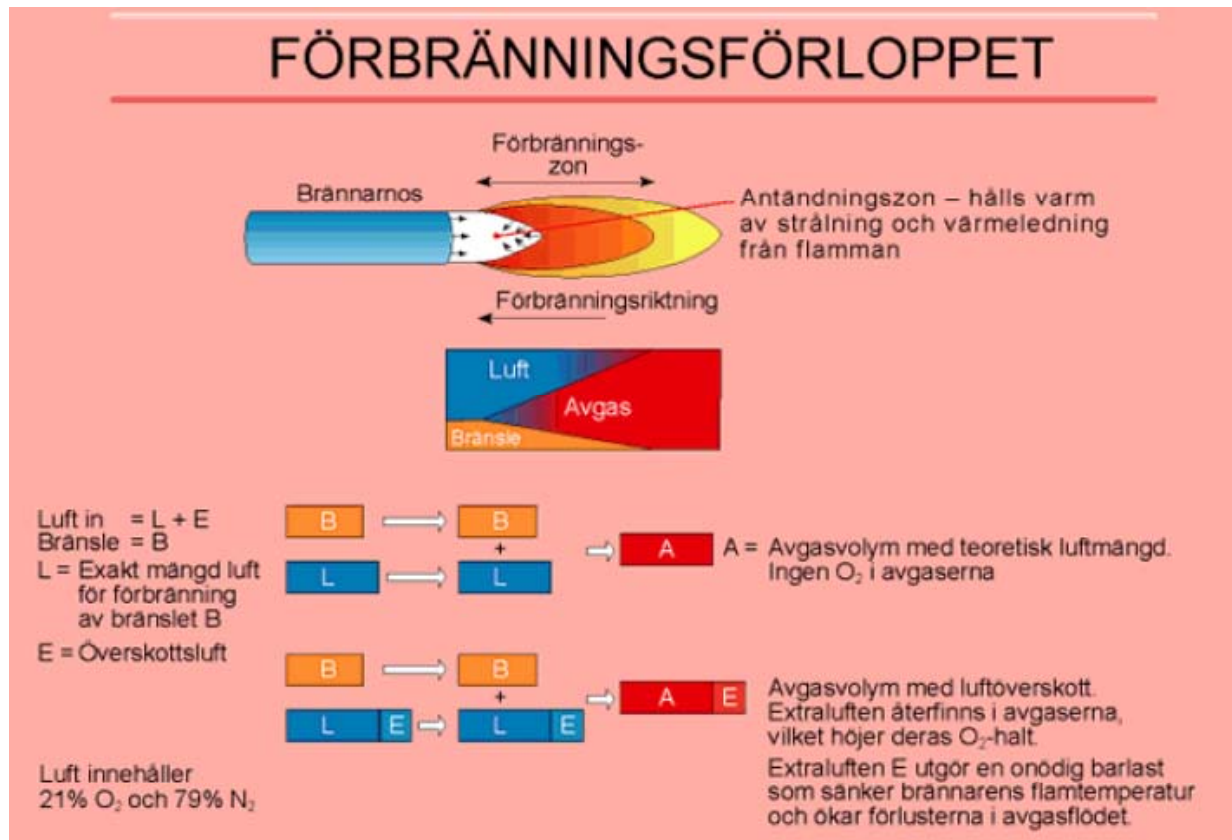
Vi betraktar det färdigblandade bränsleluftflödet utanför brännarnosen, se figur 7-3:2. Efter antändning brinner bränsle-luft-blandningen och frigör den kemiska energin hos bränslet. Den temperaturhöjning som erhålls medför en uppvärmning, genom bl a strålning från flaman, av den bränsle-luft-blandning som strömmar ut genom brännaren mot förbränningszonen.

Det finns alltså ett värmefflöde i riktning mot den tillförda bränsle-luftblandningen, vilket leder till uppvärmning av blandningen. Då uppvärmningen är tillräcklig antänds blandningen, och en flamfront med en viss förbränningshastighet bildas. Förbränningshastigheten minskar med lägre temperatur och ökar med högre temperatur hos blandningen.

Det finns alltså två hastigheter att ta hänsyn till. Den ena är bränsle-luft-blandningens utströmningshastighet ut från brännaren, och den andra är flamfrontens hastighet in mot brännaren. Jämför med att promenera på en rullbana i tunnelbanan. Man kan gå mot rullbanans rörelseriktning och om man går snabbare än banan, rör man sig mot den och om man går långsammare, följer man med den. Går man med exakt samma hastighet står man stilla mot sin omgivning.

Rör sig alltså flamfronten med exakt samma hastighet, som den utströmmande blandningen, stannar flaman kvar vid brännarnosen.

FÖRBRÄNNINGSFÖRLOPPET



Figur 7-3:2

Om flamfronten får en högre hastighet än den från brännaren utströmmande blandningen, rör sig flamfronten mot brännarmynningen. Då närmar sig flamfronten kallare ytor som kyler av flamfronten och sänker förbränningshastigheten. Bränsleluftblandningens hastighet ut ur brännarmynningen tar överhand och flamman flyttas utåt (detsamma som att gå långsammare mot rullbanans riktning – man börjar följa med den).

Då avståndet åter är så stort att avkylningseffekten ej längre är så hög, stiger åter temperaturen, och därmed höjs förbränningshastigheten och balanserar slutligen flödes hastigheten. Flamfronten stannar då i ett stabilt läge.

Om blandningens hastighet är högre än flamfrontens hastighet, blåser flamman bort från brännaren och kan slockna eller bli mycket instabil.

3.2.2 Hur sker förbränningen av bränsleluftblandningen?

Olja

Oljan måste först fördelas i fina droppar för att det skall vara möjligt att blanda den med luftens syre. Varje kubikcentimeter olja fördelas i så många små droppar, att deras sammanlagda yta blir mer än 100 gånger den ursprungliga droppens yta. Finfördelningen görs med hjälp av tryckluft eller ånga i själva brännarmunstycket. Utanför munstycket sker inblandningen av förbränningsluft.

Då bränsle-luftblandningen värms upp, startar först en förgasning av lättare fraktioner av oljedropparna, och de antänds och förbränns, så snart deras antändningstemperatur har uppnåtts. Sedan följer de allt tyngre fraktionerna, och till slut återstår ett fast "skelett" av koks, som brinner samtidigt som det ofta sprängs i mindre delar, som brinner upp var för sig. Detta kan ibland ses i en oljeflamma som små gnistor, som flyger iväg.

Gas

I gasbrännaren blandas gasen och luften utanför mynningen. Så snart antändningstemperaturen uppnåtts startar förbränningen. Vid mindre brännare kan gas och luft blandas före brännarmynningen, och den färdiga blandningen leds sedan ut genom brännaren. Denna är då utförd så att den kyler flaman så kraftigt att den ej kan gå tillbaka in i brännaren. Ofta sker kylningen genom en skiva med många små hål, genom vilken blandningen måste passera.

För båda bränsletyperna gäller att den kemiska energin är bunden i form av C och H₂, (kol och väte). Då dessa förbränns bildas CO₂ och H₂O (koldioxid och vatten). Sker förbränningen med för litet luft bildas CO (kolmonoxid), som är mycket giftig.

3.2.3 Hur kan förbränningsförloppet varieras?

Förbränningszonen kan varieras genom att påverka blandningsförloppet mellan bränsle och luft. Snabb blandning och snabb uppvärmning (genom t ex återföring av heta rökgasprodukter) ger en kort intensiv flamma. Detta kräver i regel högre lufttryck på förbränningsluften, som ofta ges rotation och får passera ut genom förträngningar för att öka turbulensen, som förbättrar flammhållningen. Genom förvärmning av förbränningsluften kan man också öka förbränningshastigheten.

Då en längre flamma önskas, tillför man luft och bränsle i parallella flöden, som långsamt blandar sig med varandra. Observera att vid mycket dåliga blandningsförhållanden kan en lång rykande flamma bildas, och denna blir i regel ej mycket bättre om mer luft tillsätts. Man ökar i stället förlusterna genom att luften innehåller ca 79 % kväve (N₂), som ej alls deltar i någon förbränning. Man värmer bara denna stora barlast från förbränningsluftens ingående temperatur till den temperatur avgaserna har då de lämnar ugnen. För denna värmning krävs en hel del energi, som egentligen skulle ha kunnat användas för värmning av ämnen.

NO_x-bildning

Vid höga temperaturer i flaman, och en samtidigt hög O₂-halt, underlättas bildningen av kväveoxider, NO_x. NO_x är ett samlingsbegrepp för de gasformiga oxider som bildas med förbränningsluftens kväve (N₂). På senare år har problemet med NO_x-bildningen uppmärksamats alltmer, eftersom dessa kväveoxider utgör en hälsofara.

Brännarfabrikanterna har därför konstruerat nya brännartyper, som ger lägre halter av NO_x. Dessa brännare arbetar med en återcirkulering av förbränningsprodukter (som är inerta), som undertrycker NO_x-bildningen. Man tillför också ibland förbränningsluften i flera steg, vilket verkar hämmande på NO_x-bildningen genom att flamtemperaturen hålls nere.

3.3 Viktigt för effektiv förbränning

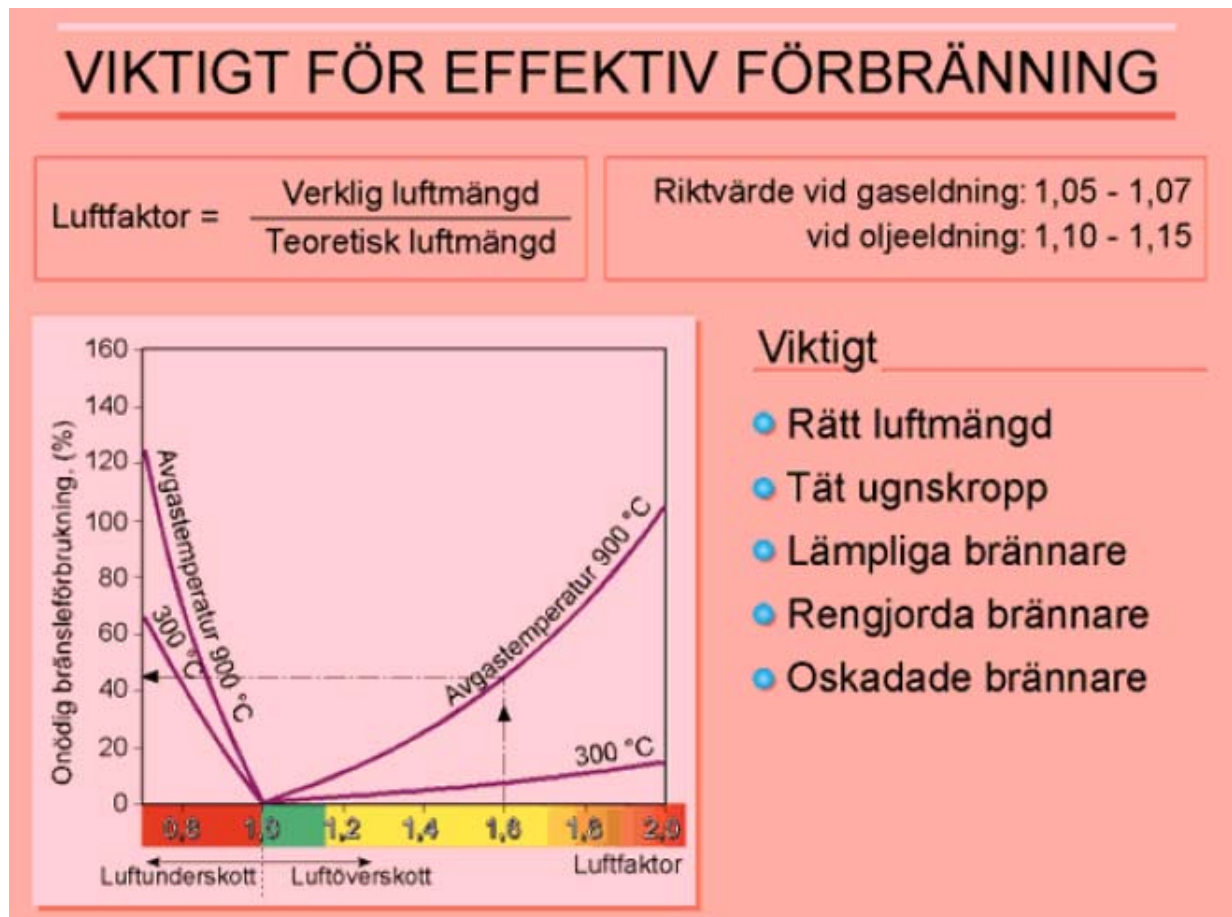
Följande parametrar är viktiga för effektiv förbränning:

3.3.1 Blandningsförloppet

Brännaren måste blanda luft och bränsle så bra att det tillsatta syret når allt bränslet. Jämför med att blanda två olika färger i en burk. Man måste blanda mycket noga för att stråk av någondera färgen ej skall synas. Detsamma gäller för brännaren. Det får ej finnas stråk av vare sig ren luft eller rent bränsle. Dessa stråk kanske aldrig utjämnas utan fortsätter genom hela ugnen. I stråk med för mycket luft kan man få glödsksalsbildning eller avkolning på stálytan. Där det finns för mycket bränsle, kan ej bränslet förbrännas till fullo. Brännbara gaser följer då med avgaserna ut från ugnen, och det innebär energiförluster.

3.3.2 Luftfaktorn

Vad är då den s k luftfaktorn? Jo, det är ett tal som betecknar hur mycket luft, som *faktiskt tillförs*, i förhållande till vad, som teoretiskt skulle behövas vid perfekt förbränning, s k stökiometrisk förbränning.



Figur 7-3:3

Luftfaktorn 1 betyder att exakt rätt mängd luft, som behövs för att förbränna en viss mängd bränsle, tillsätts i brännaren. Luftfaktor >1 (betyder större än 1) innebär att mer luft än vad som behövs tillsätts. Förbränningen är då överstökiometrisk. En luftfaktor <1 (mindre än 1) innebär att luftmängden är mindre än den erforderliga. Förbränningen är då understökiometrisk. Observera att luften skall tillsättas i *brännaren* och inte genom några läckage vid luckor etc.

I praktiken kan inte en brännare blanda luft och bränsle helt perfekt utan man tvingas tillföra en aning "extra" luft för att vara säker på att allt bränsle kan förbrännas. Luftfaktorn bör alltså ligga strax över 1 vid effektiv ugnsdrift.

Om brännaren tillförs alldeles för mycket luft, kommer denna extra luft att komma in i ugnen genom brännaren vid en låg temperatur och lämna ugnen med avgaserna vid en hög temperatur. Den extra luften deltar inte i förbränningen, utan ger endast ökade förluster och onödigt hög bränsleförbrukning.

Används för lite luft bränns ej allt bränsle upp, och en del av energin blir i stället outnyttjad och följer med avgaserna ut som brännbara gaser. Dessa avgaser kan då också vara mycket giftiga av det endast delvis förbrända bränslet, eftersom kolmonoxid kan ha bildats.

Lämplig luftfaktor vid förbränning av:

gas	1,05 – 1,07
olja	1,10 – 1,15

Kom ihåg: Om en onödigt hög luftfaktor skulle bestraffas med böter, så borde en luftfaktor under 1,05 ge fängelse.

Anm: Det finns dock *speciella* ugnar som medvetet körs med en luftfaktor lägre än 1,0 för att skapa en reducerande atmosfär i ugnen.

3.3.3 Flamhållningen

Den vid förbränningen bildade flamman får ej släppa från flamhållaren (eller brännarnosen som den också kallas), utan skall hela tiden hållas kvar vid denna.

Jämför med en svetsflamma som släpper. Svetsen slocknar omedelbart. En flamma i ett varmt ugnsrum kanske ej slocknar direkt, om pådraget är högt och ugnen uppe i hög temperatur, men då pådraget minskas slocknar kanske flamman, eftersom värmeutvecklingen minskar och därmed förutsättningen för att en fri flamma skall kunna brinna.

Flamhållningen påverkas av bränslets förbränningshastighet och av temperaturen. Flamman brinner i riktning mot det tillförda bränslet, och om flammans front rör sig med exakt samma hastighet som bränsleströmmen, så hänger flamman kvar vid brännaren och släpper ej.

Flamhållningen beror också på hur brännarens nos är utförd och på hur luft/bränsle tillförs. Plana ytor ger på sin baksida en virvelbildning, som stabiliserar flamman. Stabilisering kan även erhållas genom att sätta rotation på bränsle/luftblandningen. Även den keramiska dysan utanför brännarnosen ger en stabilisering, genom att den blir mycket varm och höjer förbränningshastigheten, så att utblåsning ej sker. Konformen hos dysan ger plats för det av temperaturhöjningen expanderande gasflödet, så att hastigheten hålls relativt konstant.

3.3.4 Brännarimpulsen

Brännarimpulsen är beroende både av hastigheten och av mängden hos den utströmmande bränsle-luftblandningen. Högre hastighet och/eller mängd ger högre impuls.

Brännarimpulsen bör vara så hög som möjligt, utan att flamman blåser ut eller att ljudnivån blir för hög. En hög impuls innebär att brännaren sätter fart på ugnsavgaserna, så att de rör sig snabbt genom ugnsrummet. Hög hastighet ger bra värmeöverföring. Jämför med hur det känns då man blåser på sin hand i en het bastu. Handen känns som om den utsattes för en brännande luftström, medan den övriga kroppen kan vistas i bastun utan alltför intensiv värmekänsla.

3.4 Förbränning och miljö

All förbränning ger någon form av förbränningsprodukter. En del kan vara helt ofarliga, medan andra är mer eller mindre skadliga för människa och miljö, se figur 7-3:4.

Allmänt kan man säga att väte, H_2 , i bränslet ger ofarligt vatten som slutprodukt, medan svavel, kol och kväve (S, C, och N_2) ger olika produkter, som klassas som skadliga för miljön. Vanliga förbränningsprodukter är SO_2 , SO_3 , CO, CO_2 , NO, NO_2 , som alla påverkar vår omgivning.

Alla föreningarna av S, C, och N_2 , som innehåller syre (O_2), kallas oxider och uppträder i gasform.

FÖRBRÄNNING OCH MILJÖ

I förbränningen deltar: syre, väte, kol, svavel och kväve
 O_2 H_2 C S N_2

Förbränningsprodukter: H_2O CO_2 CO SO_2 SO_3 NO_x Sot, stoft

H_2O Vatten

CO_2 Koldioxid - ej giftig, men bidrar till växthuseffekt

CO Koloxid - dödligt giftig! Lömsk ty osynlig utan lukt

SO_2 } Svaveloxider - bildar frätande svavelsyra med vatten. Avgaser
 SO_3 } med svaveloxider bör ej kylas under syradaggpunkten, ca $150^\circ C$

NO_x Kväveoxider - risk för lungskador vid inandning. Skadlig för miljön

Sot, stoft Ger upphov till surt nedfall. Kan innehålla skadliga tungmetaller

Figur 7-3:4

3.4.1 Påverkan från svavel, S

Svavlet i bränslet bildar svaveloxider av två typer, SO_2 och SO_3 . Dessa ger försurning av naturen och kan även skada förbränningsanläggningen, genom att frätande syror faller ut i avgaserna, när dessa kyls under den s k syradaggpunkten vid ca $150^\circ C$. Genom lagstiftning har man begränsat användningen av bränslen med höga svavelhalter.

3.4.2 Påverkan från kol, C

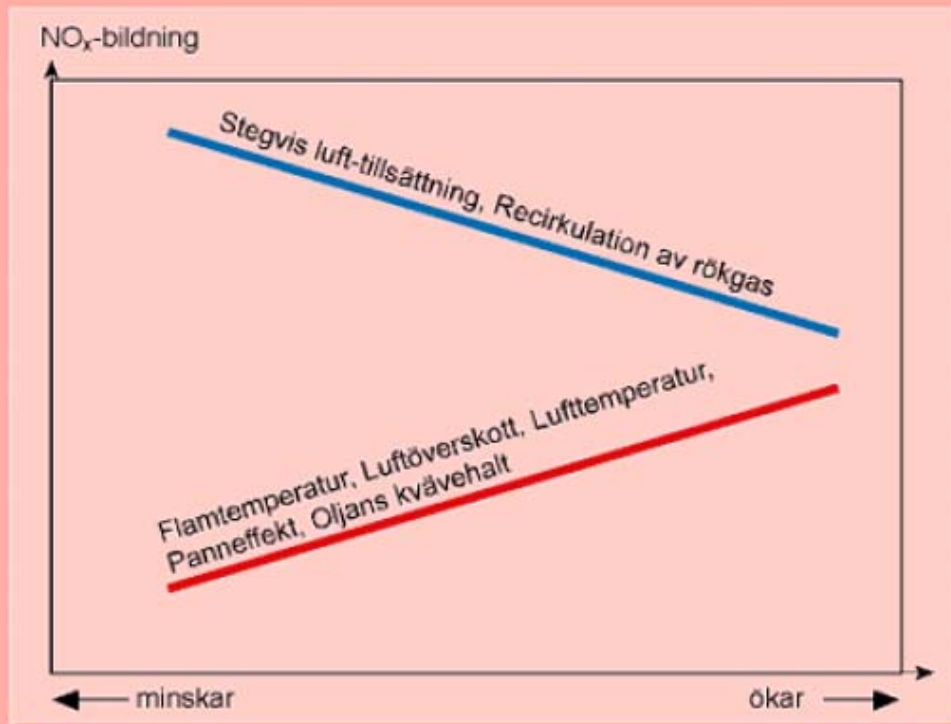
Kolet, som alltid finns i stora mängder i bränslet, bildar med syre främst koldioxid, som bidrar till den s k växthuseffekten. Jordens temperaturnivå ökar, genom att värmeutstrålning från jorden försvåras.

Vid s k ofullständig förbränning (med luftfaktor mindre än ett) bildas delvis oförbränt bränsle, som kan vara cancerframkallande och innehålla giftig kolmonoxid (CO).

3.4.3 Påverkan från kväve, N_2

Kväveoxiderna NO och NO_2 samlas under en allmän beteckning, NO_x , men i miljösammanhang sätts gränsvärdet för NO_x i form av NO_2 . NO_x är skadligt för människans andningsvägar (lungskador kan uppstå), men har även en skadlig inverkan på miljön.

FAKTORER SOM PÅVERKAR NO_x-BILDNINGEN



Figur 7-3:5

3.4.4 Påverkan av sot och stoft

I avgaserna finns större eller mindre mängder av sot och stoft. Luftfuktighet binds lätt i sotet eller stoftet. De fuktiga partiklarna kan lätt klumpa sig samman till större enheter. Under inverkan av framför allt svaveloxiderna blir partiklarna sura. Sot- och stoftnedfallet blir med andra ord surt och verkar försurande på naturen. Det sura nedfall vi idag upplever i Sverige, orsakas dock till största delen av utsläpp i Centraleuropa. Även skadliga tungmetaller binds och sprids på detta sätt.

4 Värmning och värmningsförlopp

4.1 Energibehov i material

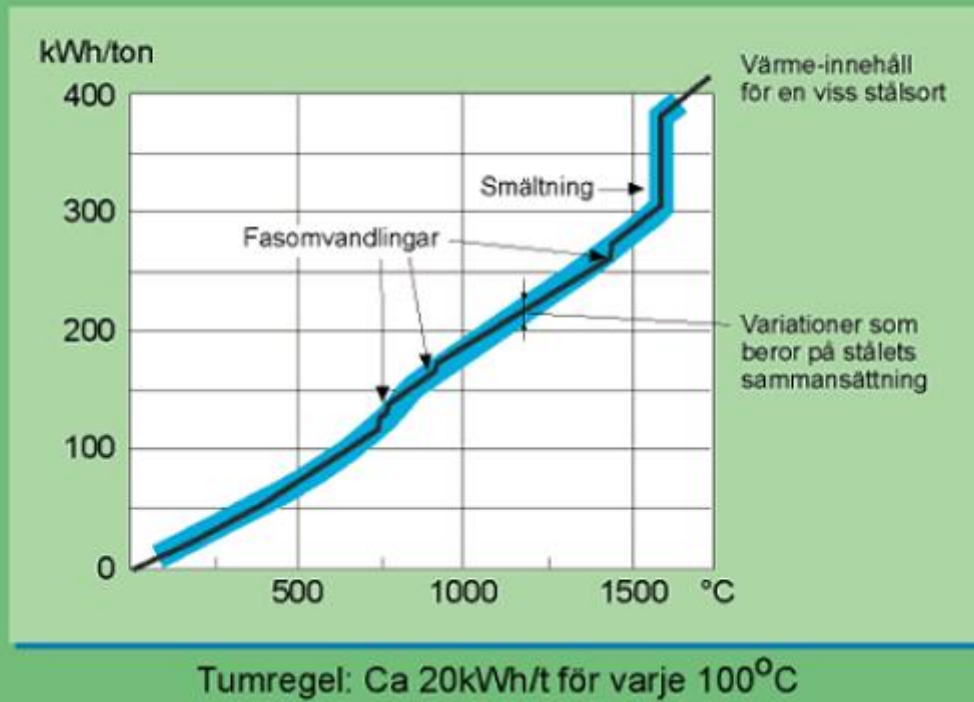
Hur mycket energi behöver egentligen "matas in i" ett stålämne för att det skall bli varmt?

Det beror förstås på hur mycket stål som skall värmas och till vilken temperatur värmningen skall ske.

I diagrammet (Figur 7-4:1) kan man avläsa den *ungefärliga* energimängd som ett ton järn eller stål innehåller vid olika temperaturer. (Den exakta energimängden beror av stålets sammansättning). "Hacken" i kurvan beror på att olika omvandlingar äger rum i stålet vid olika temperaturer. Vid ca 1600°C smälter stålet, och därför ökar energiinnehållet kraftigt med stigande temperatur.

VÄRMEINNEHÅLL I STÅL

Högre temperatur = mer värme i stålet



Figur 7-4:1

Kurvan visar t ex att ett ton stål måste uppta cirka 190 kWh energi för att värmas till 1000°C.

I en verklig ugn tillförs energi i form av bränsle eller elenergi. I alla ugnar finns det förluster som gör att *endast en del* av den tillförda energin kommer stålet tillgodo. Förlusterna beror på att varma avgaser lämnar ugnen, att energi går ut genom ugnsväggarna, att kylvatten bortför värme etc.

Om förlusterna i en ugn uppgår till hälften av energin i det tillförda bränslet måste alltså $190 + 190 = 380$ kWh tillföras för att värma ett ton stål till 1000°C, enligt exemplet ovan.

Hur mycket bränsle motsvarar 190 kWh värme?

Energien som finns i 1 ton stål vid 1000°C är 190 kWh värme. Samma energimängd finns i följande bränslemängder:

Bränsleslag	Energiinnehåll	Bränslemängd för 190 kWh
Tjockolja	41,4 MJ/kg (eller 11,5 kWh/kg)	17,6 kg
Gasol	46 MJ/kg (eller 12,8 kWh/kg)	14,8 kg

Obs: De ovan angivna bränslemängderna kan *aldrig* uppnås i verkliga ugnar. Verkliga förbrukningar ligger avsevärt högre, vanligen 2–5 gånger.

Går det åt mycket energi för att värma stål i jämförelse med att värma andra ämnen?

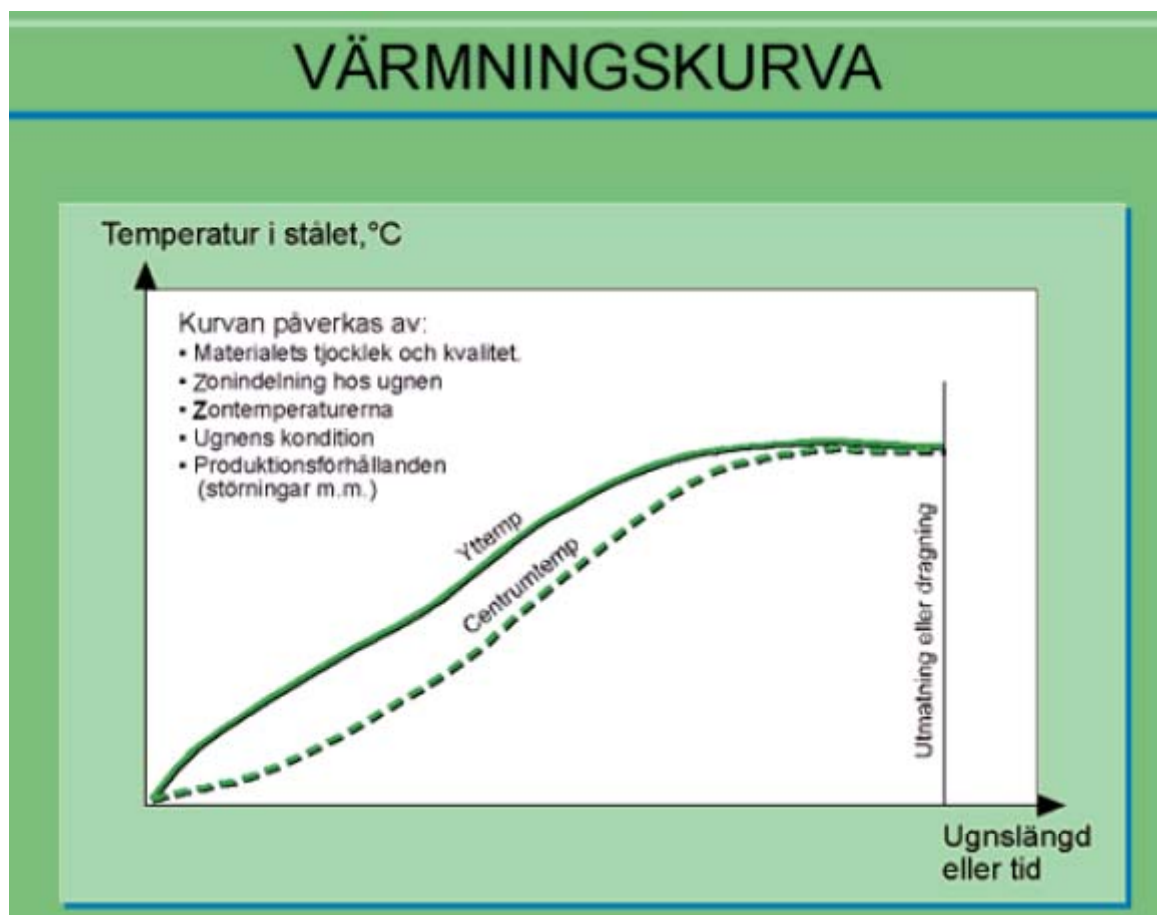
I tabellen nedan anges hur många kWh som behöver tillföras till 1 ton av olika material för att värma upp dessa 1°C vid rumstemperatur.

Material	Ökning av energiinnehåll i materialet vid temperaturökning med 1°C vid rumstemperatur, kWh/°C	Faktor jämfört med stål
1 ton stål	0,13	1
1 ton luft (780 nm ³)	0,28	2,2
1 ton vatten	1,17	9

Vatten upptar således nio gånger så mycket energi som stål (vid temperaturer under 100°C)! Detta faktum, att vatten kan lagra energi så bra, gör det speciellt lämpligt att använda i värme-system, energilager etc.

4.2 Värminingskurva

Värminingskurvan för en ugn väljs så att snabbaste värmning sker med minsta möjliga bränsle-tillförsel. Värminingskurvan väljs olika för olika material av skäl som anges nedan.



Figur 7-4:2

I början av värmningen, då materialet är kallt, värms det med energi från de utgående avgaserna ur ugnen. För att utnyttja avgaserna så effektivt som möjligt, ges avgaserna hög hastighet genom att ugnstaket dras ned och tvärsnittsarean minskas. Den ökande gashastigheten förbättrar den konvektiva värmeöverföringen från gas till material.

I nästa del av ugnen har man höga gastemperaturer och kan överföra stora energimängder genom strålning och konvektion. Då är det viktigt att ej värma för snabbt så att materialet skadas (bränns, spricker, böjs) eller avkolas. Under värmningen strävar man efter att få in tillräckligt med energi i materialet så att det blir genomvärt. Värmeledningen för materialet spelar då en avgörande roll tillsammans med energiupplagringsförmågan.

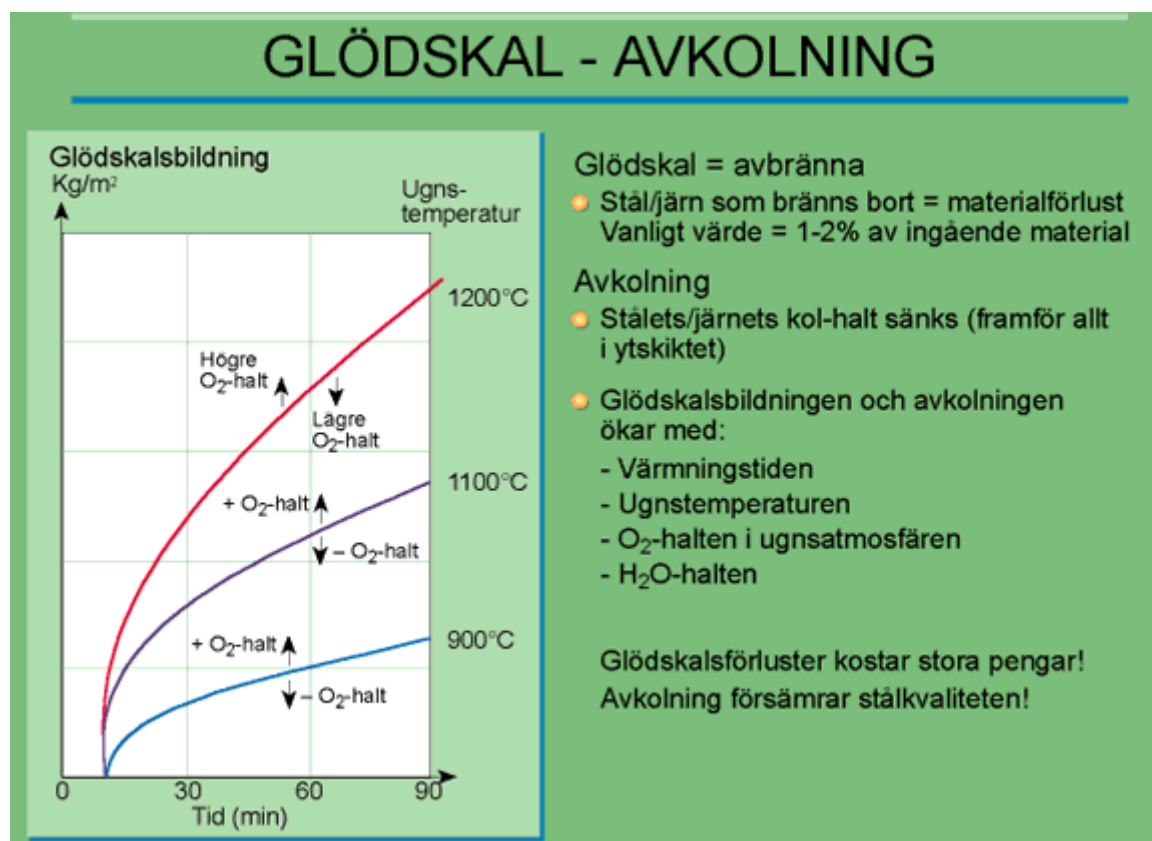
Om materialet ej längre kan leda energin inåt i samma takt som det tillförs, stiger yttemperaturen snabbt och en lokal smältning/avbränna kan ske. Man har då överskridit den effektivaste värmningskurvan. För vissa material får man av strukturskäl eller spänningsskäl ej heller följa den maximala värmningskurvan. Sprickbildning kan till exempel lätt uppstå.

I slutzonen skall materialet slutligen ha uppnått så hög yttemperatur och lagrat upp så mycket energi totalt, att det inträder en temperaturutjämning över hela tvärsnittet med en slutlig korrekt temperaturnivå.

Man försöker undvika att få för hög materialtemperatur för tidigt i ugnen för att materialet ej skall utsättas för onödigt stor avkolning och avbränna om det måste ligga kvar i ugnen under lägre tid än planerat, t ex på grund av driftstopp i valsverket.

4.3 Glödskal och avkolning

Vid all värmning, då materialet uppnår högre temperaturer, sker en påverkan på ytan från det syre som ugnsrummet innehåller. En oxidering av ytan sker och sk glödskal bildas. Glödskalet är oxid av stål, och då det bildas, frigörs faktiskt en del värme som kommer ugnen tillgodo. (Denna energi är dock mycket dyr och inte önskvärd).



Figur 7-4:3

Även kolet i stålet (i form av Fe₃C, järnkarbid) kan oxideras till kolmonoxid, om ugnsatmosfären innehåller fritt syre, vattenånga eller väte (H₂) och koldioxid samtidigt. En ytavkolning, dvs en minskning av stålets kolhalt i ytan, sker och stålets ythårdhet minskar. Detta försämrar produktkvaliteten och bör därför om möjligt förhindras.

Allmänt kan man säga att glödskalsbildning och avkolning ökar med temperaturen och ugnsatmosfärens syrehalt, speciellt om vattenånga finns närvarande. Detta innebär att en låg luftfaktor

(dock ej under 1,0) skall eftersträvas i de delar av ugnen där temperaturen är högst. Allt läckage inåt i ugnsrummet skall också undvikas i dessa områden.

För att undvika avkolning och glödskaalsbildning vid värmebehandling används skyddsgas, vars sammansättning ger sådana gasjämvikter att oxidering och avkolning undertrycks. Användning av skyddsgas är ett mycket komplext område, som kommenteras i ett separat avsnitt.

Man bör tänka på att glödskaal alltid bildas i vanliga bränsleeldade ugnar, och att det skall kunna avlägsnas före nästa arbetsmoment, som vanligen är valsning. Ibland tenderar glödskalet att bli tunt och segt och sitta fast så hårt att glödskaalsrensningen ej kan få bort det. För att då kunna få bort glödskalet måste man låta glödskaalsskiktet bli tjockare. Syrgashalten i ugnen måste då *höjas* så att oxideringen ökar, och den bildade oxiden (glödskalet) lättare flagnar av.

4.4 Värmning kan ske med bränsle eller elenergi

Gasol, olja, processgaser och naturgas är de vanligaste bränslena i ugnar och pannor. För bränslen krävs brännarsystem, medan elvärmningen kräver motståndselement eller induktionsspolar tillsammans med omformare och elektronisk styrning.

4.4.1 Bränsleeldade ugnar

Vid bränsleeldade ugnar produceras heta gaser som avger sin energi till ämnet genom strålning och genom konvektion. Detta är ett mycket effektivt värmeöverföringssätt. Nackdelen med bränsleeldade ugnar är de stora förlusterna som uppstår genom att heta avgaser lämnar ugnen.

Det finns olika metoder att minska avgasförlusterna. Ett sätt är att återföra en del av avgasernas energi till förbränningsluften genom förvärmning i en rekuperator. Ett annat sätt är att använda delar av energin för att värma vatten eller producera ånga, som används för t ex uppvärmning av lokaler, tappvarmvatten och processbad (ex betbad).

4.4.2 Elvärmda ugnar

Elvärmda ugnar har ej några avgaser som ger höga förluster. De är lätta att reglera och har en hög verkningsgrad. Elugnar har dock normalt högre investeringskostnader än bränsleeldade ugnar. Driftkostnaderna kan vara lägre eller högre än bränsleeldade ugnar – förutsättningarna varierar från fall till fall.

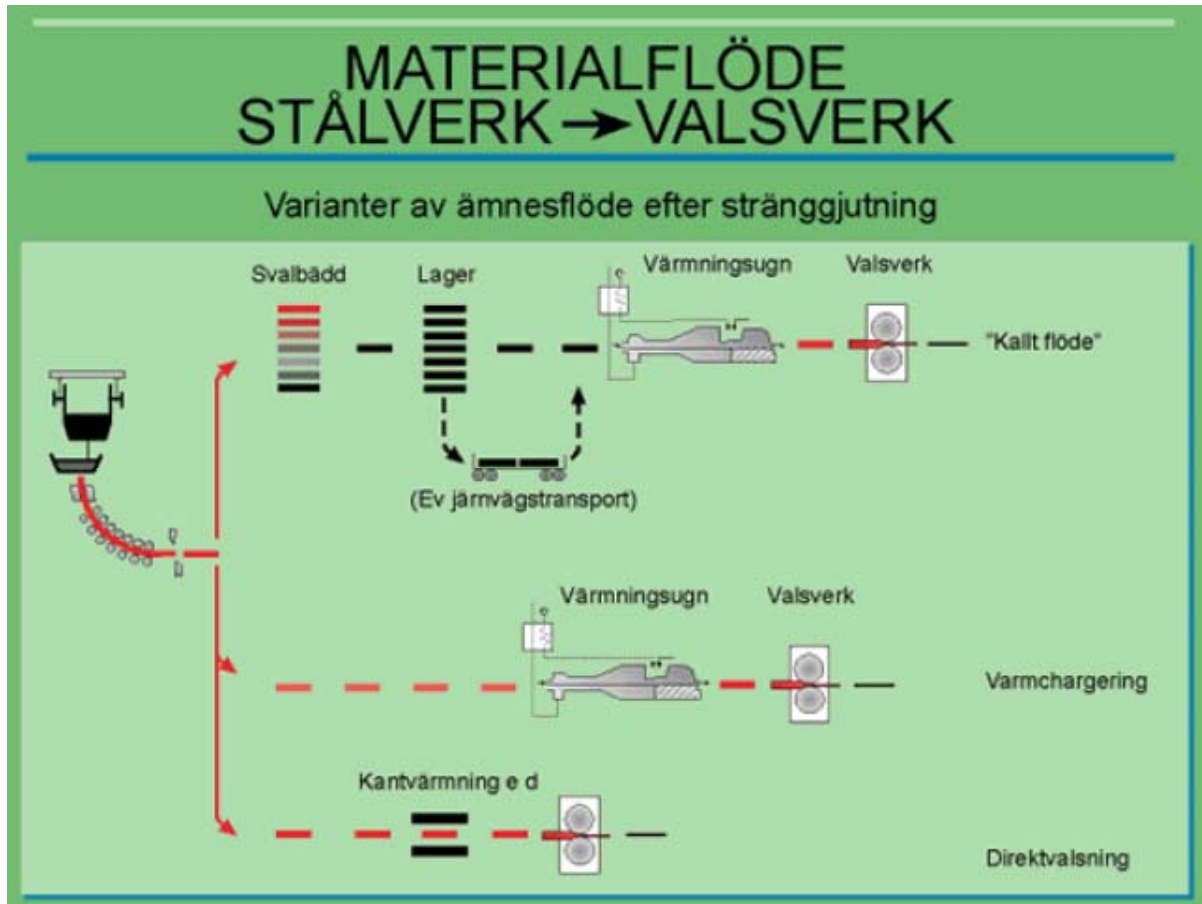
De motståndsvärmda ugnarna har motståndselement som ofta hänger ned från taket (utmed väggarna) och är i regel U-formade. Elementen är relativt tåliga då de är uppe i full temperatur, men blir oftast mycket spröda då de har svalnat och man måste därför iakttaga försiktighet vid arbeten inuti en kall elugn.

Energien överförs från elementen genom strålning. Eftersom deras placering är utmed väggarna kan det vara svårt att erhålla en helt jämn temperaturprofil. Materialet i mitten kan hamna i "skuggan". I ugnar med lägre temperaturer (värmebehandlingsugnar) kan då fläktar användas för att sätta ugnsgaserna i rörelse. Genom denna rörelse fås ett konvektivt tillskott till värmeöverföringen.

De sk induktionsugnar har spolar som skapar ett växlande magnetfält genom vilket materialet får passera. Den virvelström som då uppstår i stålet ger en kraftig värmeutveckling *inne i materialet* och temperaturen stiger.

4.5 Materialflöde stålverk – ugn – valsverk

Det flytande stålet från stålverket gjuts till ämnen vars dimensioner anpassas så mycket som möjligt till de slutliga produkternas form. Gjutningen görs normalt i sk stränggjutningsanläggningar där mycket ofta flera parallella strängar gjuts. De långa strängarna kapas i lämpliga ämneslängder allt eftersom de växer fram i stränggjutningsanläggningen. Kapningen görs med syrgasskärning.



Figur 7-4:4

I vissa verk gjuts stålet till göt, som valsas till ämnen eller som smids till större smidesprodukter.

Ämnena, som har en temperatur på ca 900°C vid kapningen får svalna till en temperatur så att de kan hanteras, varefter de kontrolleras för att se om de innehåller fel i form av ytdefekter, kantsprickor och inre sprickor. Ytdefekter och kantsprickor slipas bort, om det är möjligt, varefter ämnena går vidare till värmugnen och värms till valsningstemperaturen, ca 1200°C. Därefter sker valsningen.

Värmugnen värmer ofta ämnen av en enda dimension medan efterföljande valsverk valsar materialet till olika slutdimensioner. Det betyder att omställningar måste göras i valsverket. Under dessa perioder tas inga ämnen ut från ugnen. Ibland blir det även oplanerade driftavbrott i valsverket, vilket gör att produktionen stannar.

Sammantaget betyder detta att värmugnen, förutom att värma ämnen, även fungerar som en "buffert" för valsverket. Ugnens pådrag kommer att variera kraftigt, från mycket högt när produktionen i valsverket körs för fullt, till mycket lågt när valsverket tillfälligt står stilla, och ugnen endast skall se till att det finns varma ämnen när valsverket startar igen.

Det vore förstås energimässigt mycket fördelaktigt om man kunde kontrollera ämnena vid 900°C, och därefter direkt låta dem gå in i värmugnen för värmning till 1200°C och sedan valsas. Ett sådant "varmt flöde" förutsätter dock bl a att ämnena kan kontrolleras och slipas vid ca 900°C, att stränggjutning, kontroll- och slipstation, värmugn och valsverk ligger "rätt" i förhållande till varandra, så att transporten av varma ämnen kan göras på lämpligt sätt. Förutsättningarna för varmt flöde är dock inte särskilt gynnsamma i svenska verk.

Den omfattande omstruktureringen inom svensk stålindustri har för övrigt medfört att ämnesproduktion endast finns på vissa orter, och efterföljande valsningar kan sedan genomföras på helt andra orter. Långa transporter av varma ämnen skulle under dessa förhållanden bli nödvändigt, vilket skulle bli både komplicerat och dyrt.

5 Ugnstyper och ugnskomponenter

5.1 Ugnstyper

Ugnarna brukar indelas i följande huvudtyper:

- Smältugnar
- Värmugnar
- Värmebehandlingsugnar

Ugnarna kan vara kontinuerliga eller köras satsvis.

5.1.1 Smältugnar

Det finns två huvudtyper för skrotsmältning (figur 7-5:1):

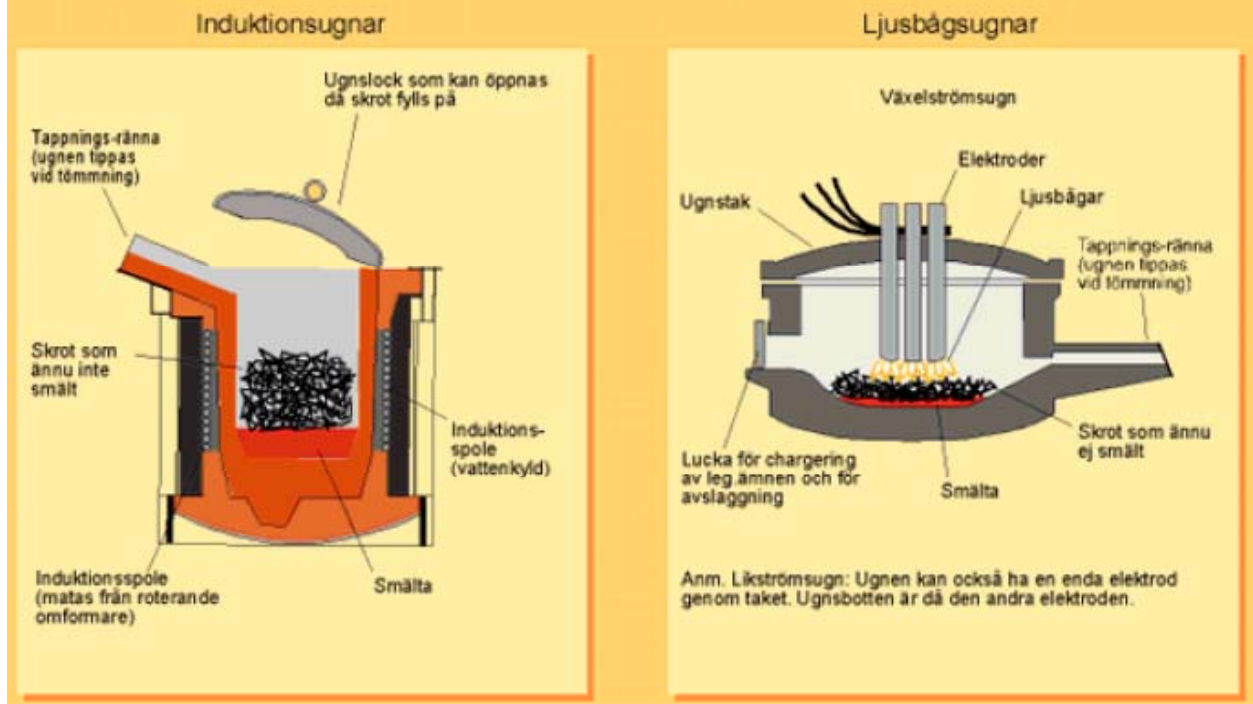
Ljusbågsugnar

Energin för smältningen utvecklas i ljusbågarna som bildas mellan elektroderna (normalt tre stycken) och mellan elektroderna och skrotet. Ugnstorlekar för smältning av mer än 100 ton skrot finns. Smältningen sker satsvis.

Induktionsugnar

Induktionsugnarna har kraftiga magnetpolar, som arbetar med växelspanningar. Dessa åstadkommer växlande virvelströmmar i skrotet. Strömmarna ger upphov till en kraftig uppvärmning av skrotet så att det smälter. Även denna ugnstyp arbetar satsvis.

SMÄLTUGNAR



Figur 7-5:1

5.1.2 Värmugnar

Värmugnar värmer materialet inför t ex en valsning eller en smidesoperation. Ugnarna kan ha många olika utföranden, men alla som värmer ämnen till ett efterföljande valsverk arbetar kontinuerligt (figur 7-5:2).

Vanliga typer är *stegbalksugn*, där ämnena ligger med ett visst mellanrum och lyfts steg för steg genom ugnen av lyftbalkar, s k stegbalkar, eller *genomskjutningsugn*, där ämnena skjuts i en obruten sträng genom ugnen av en inskjutningsanordning. Valsverksugnar är i regel bränsleeldade (gasol, olja eller koksugns gas).

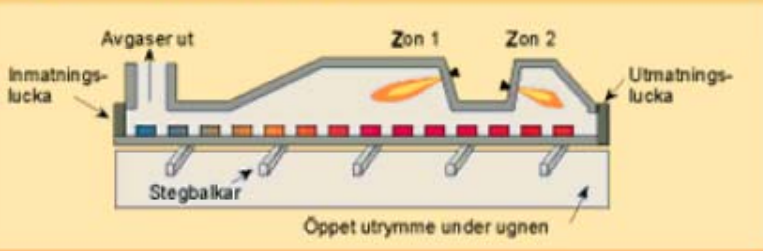
Smidesugnar kan vara bränsleeldade eller elektriskt värmda (ofta induktionsugnar vid mindre ämnesstorlekar), figur 7-5:3. Ugnar som värmer stora ämnen till en smidespress arbetar ofta satsvis.

Temperaturnivåer för värmugnar är normalt 1050°C till över 1200°C. Ugnarna är oftast utförda med flera temperaturzoner.

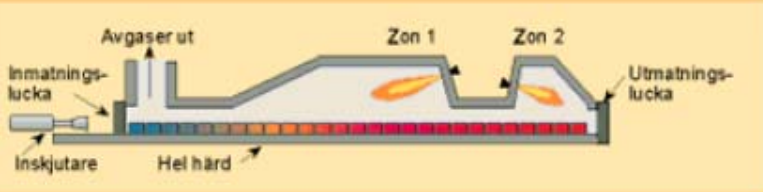
VÄRMUGNAR

Ugnar före valsverk

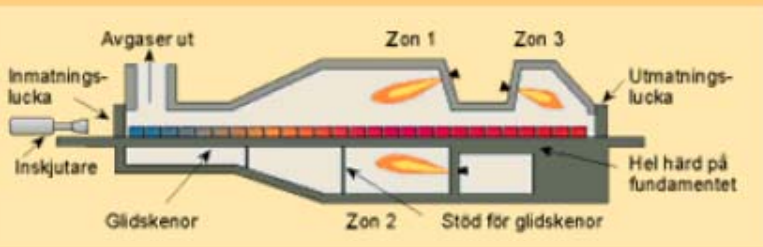
Stegbalksugn
2 brännarzoner



Genomskjutningsugn
2 brännarzoner – övereldad



Genomskjutningsugn
3 brännarzoner – över/undereldad



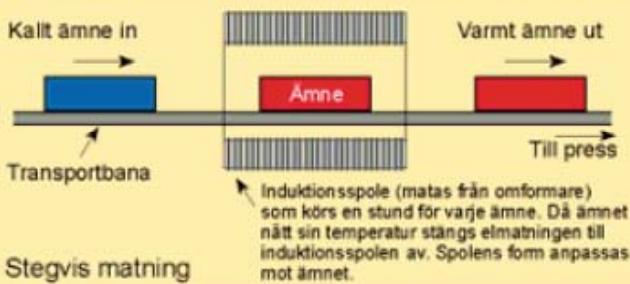
Figur 7-5:2

VÄRMUGNAR

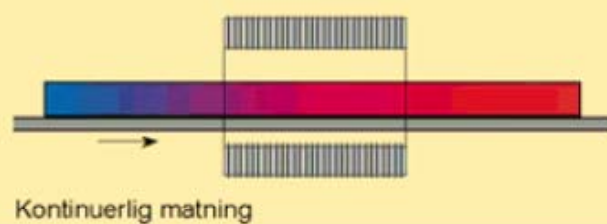
Ugnar före smide

Induktionsugn

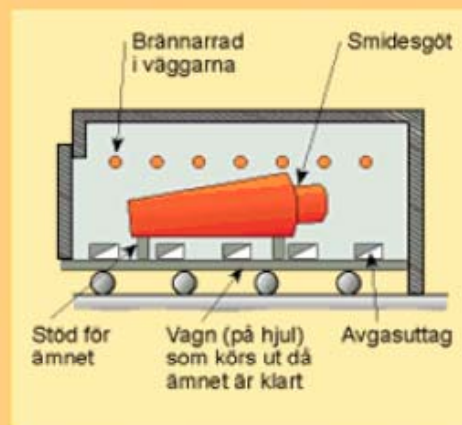
Små/mindre ämnesdimensioner
Korta ämnen



Långa ämnen



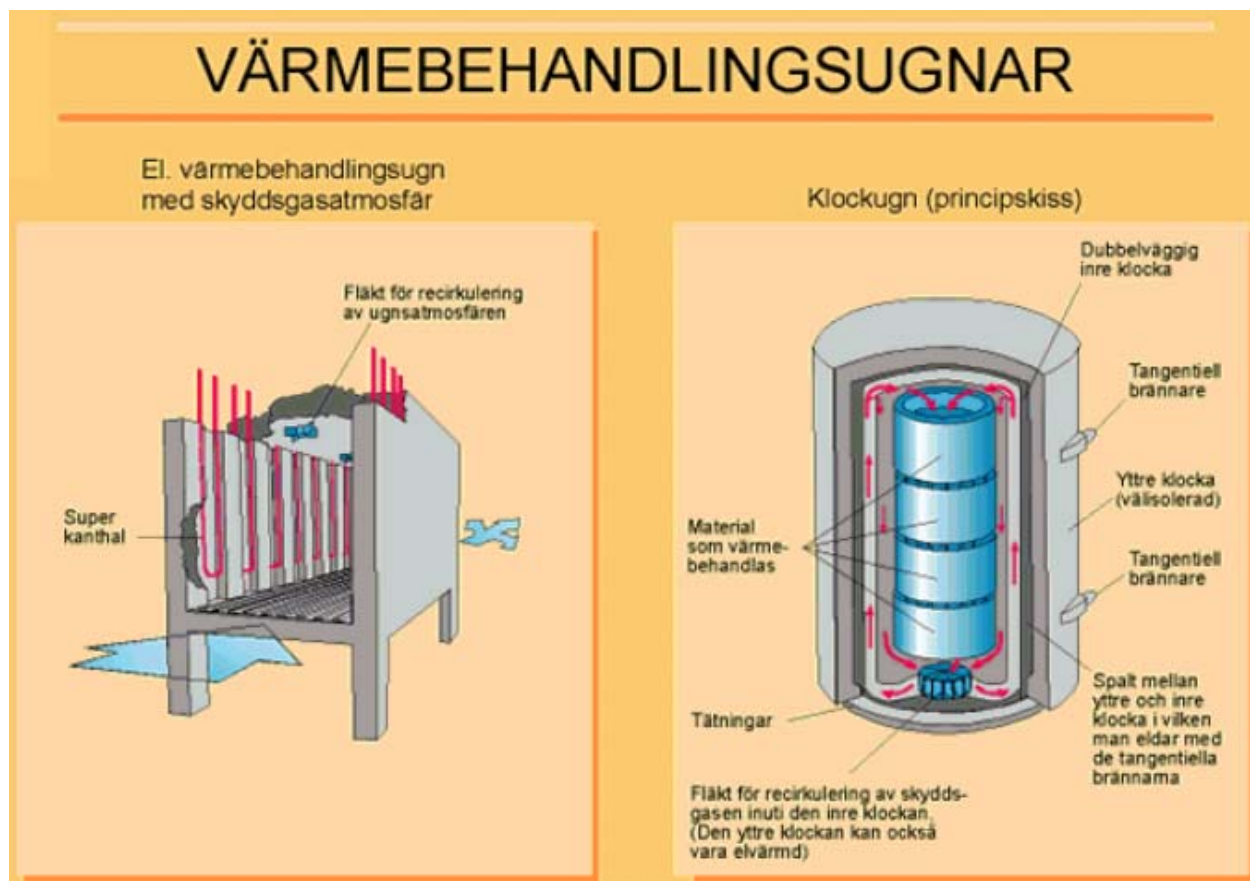
Bränsleeldad ugn



Figur 7-5:3

5.1.3 Värmebehandlingsugnar

Värmebehandlingsugnarna värmer materialet enligt ett visst "temperaturprogram", så att materialets struktur och egenskaper förändras på önskat sätt. Ugnarna kan vara utförda som skyddsgasugnar (innehållande skyddsgas) för att förhindra till exempel avkolning eller med speciell skyddsgas, som till exempel ger uppkolning av ämnesytan.



Figur 7-5:4

Värmebehandlingsugnarna arbetar med lägre temperaturnivåer än värmugnarna. Normala temperaturnivåer är 200°C till 1100°C. Ugnarna kan vara kontinuerliga med utförande liknande värmugnarna, men där transporten ofta sker med hjälp av vattenkylda rullar genom ugnen, eller satsvisa. Den satsvisa ugnen kan till exempel vara en skvagnugn, där materialet körs in i ugnen på en vagn.

Andra typer av satsvisa värmebehandlingsugnar är klockugnarna. Dessa har en ugnskropp i form av en skklocka som lyfts över den materialstapel som skall värmebehandlas. Två klockor utnyttjas över varandra varvid skyddsgas ofta cirkuleras genom den inre där materialet ligger. Denna ugnstyp kan vara bränsleeldad eller elvärmd.

För speciella processer används ibland också en ugnstyp som är vakuumtät. Sedan chargen har lagts in i ugnen evakuerar man den ursprungliga ugnsatmosfären. Vissa komponenter kan då avgå i gasform från chargen.

Övervägande delen av värmebehandlingsugnar är elvärmda eftersom de ej avger avgaser, har högre verkningsgrad, lägre ugnsslitage, enklare reglering och övervakning. Inom varje grupp finns en mängd olika utförande på ugnarna.

5.2 Brännare

5.2.1 Brännarnas uppgifter

Brännarna i en ugn har som uppgift att:

- tillföra ugnen den erforderliga energimängden.
- blanda bränsle och luft så effektivt att en förbränning kan äga rum. *Bränslet skall finfördelas så att den tillförda luften kan nå allt bränslet.* Finfördelningen görs med tryckluft eller ånga om bränslet är olja. Brännaren tillför just den luftmängd som behövs fördelat över hela bränslevolymen och ger därmed en intensiv förbränning. Den i brännaren tillförda luftmängden *skall vara tillräcklig för att allt bränsle skall kunna förbrännas med luftens syre.*
Jämför med en vanlig brasa som är svår att tända. Om man blåser på den tar den sig lättare eftersom mera luft då tillförs där den behövs.
- ge de bildade avgaserna sådan hastighet att ugnsgaserna drivs upp i en hög hastighet jämnt fördelat över ugnens tvärsnitt. Hög gashastighet bidrar till hög värmeöverföring genom konvektion.
- rikta avgaserna så att dessa utnyttjas på bästa sätt för värmning av materialet. Avgasflödet skall träffa ämnena först och avge energi till dem innan de träffar väggar och tak.
- upprätta ett lokalt högre ugnstryck som minimerar inläckning av kallluft (ugnstrycket beror dock framför allt av avgasspjäll, avgasfläkt och skorsten). Man riktar t ex brännarna mot uttagssluckan i en ugn, för att i dess omedelbara närhet lokalt höja ugnstrycket så mycket, att inläckning av kall luft upphör.
- genomföra förbränningen så att avgasernas sammansättning blir den önskvärda, t ex låg halt av kväveoxider.

5.2.2 Det finns många brännartyper

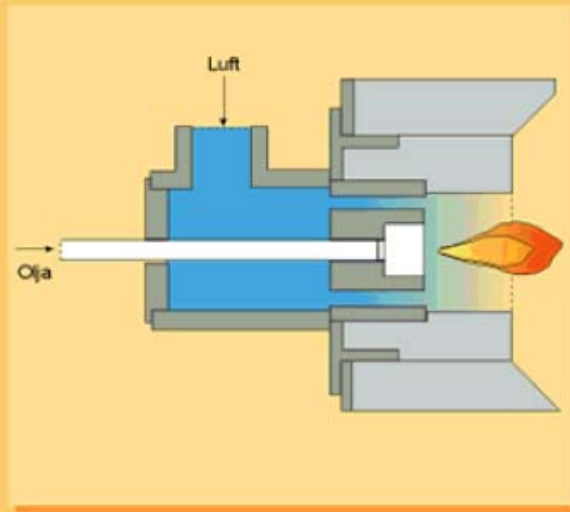
Det finns många typer av brännare för att passa olika typer av ugnar, bränslen och värmningsfall.

Det finns t ex brännare som kan ge en mycket kort flamma som breder ut sig utmed ugnsväggen där brännaren sitter. Brännaren kallas plattbrännare (ung. flat flambrännare) och används i taket i låga ugnrum. Det finns även brännare med relativt kort flamma som sticker ut vinkelrätt mot väggen och det finns brännare med långa flammor. Brännare kan alltså "skräddarsys" för att passa i olika tillämpningar och under olika förutsättningar. Med flammans form och impuls är det möjligt att styra värmningsförloppet i varje enskilt fall.

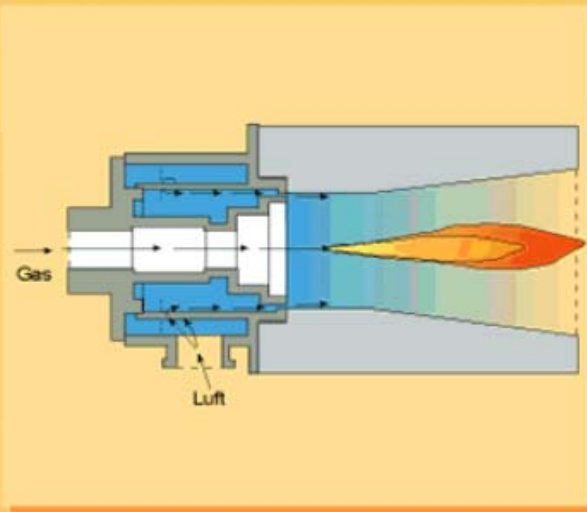
Figur 7-5:6 visar en brännare som kan elda både gas och olja. Av figuren framgår vilka huvudkomponenter som finns i en brännare och var de är placerade.

BRÄNNARE I

Oljebrännare



Gasbrännare

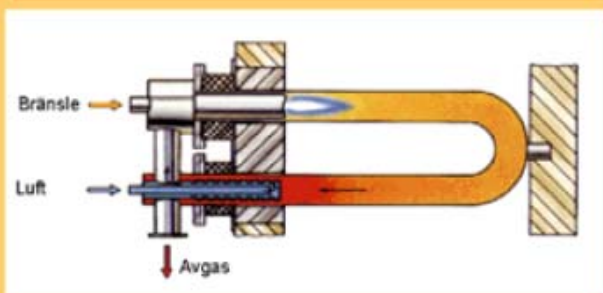
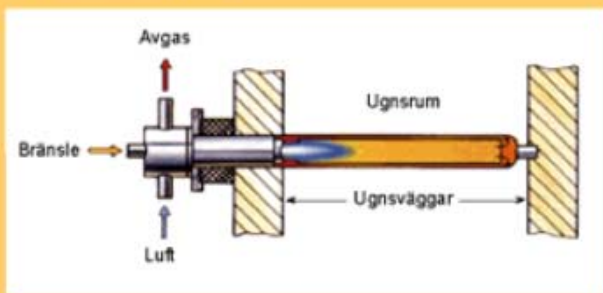


Figur 7-5:5

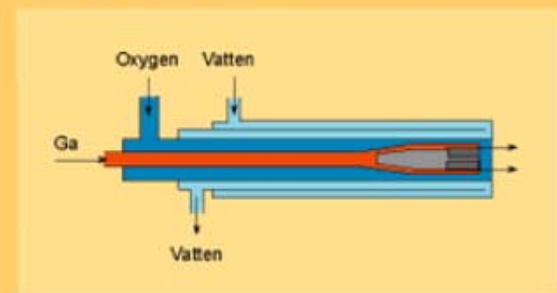
Det finns ugnar där materialet värms i en speciell gas, s k skyddsgas, för att materialet skall få önskade ytegenskaper. I en sådan ugn får ju inte skyddsgasen blandas ut med avgaser från förbränningen eftersom den skyddande effekten då förstörs. Brännarna som då används, byggs in i rör. Den heta flaman och avgaserna värmer rören invändigt till höga temperaturer (ex 1000°C). Rörens utsida värmer, genom strålning och konvektion, det gods som passerar genom ugnen. En sådan brännare kallas strålningstub.

BRÄNNARE II

Strålningstuber



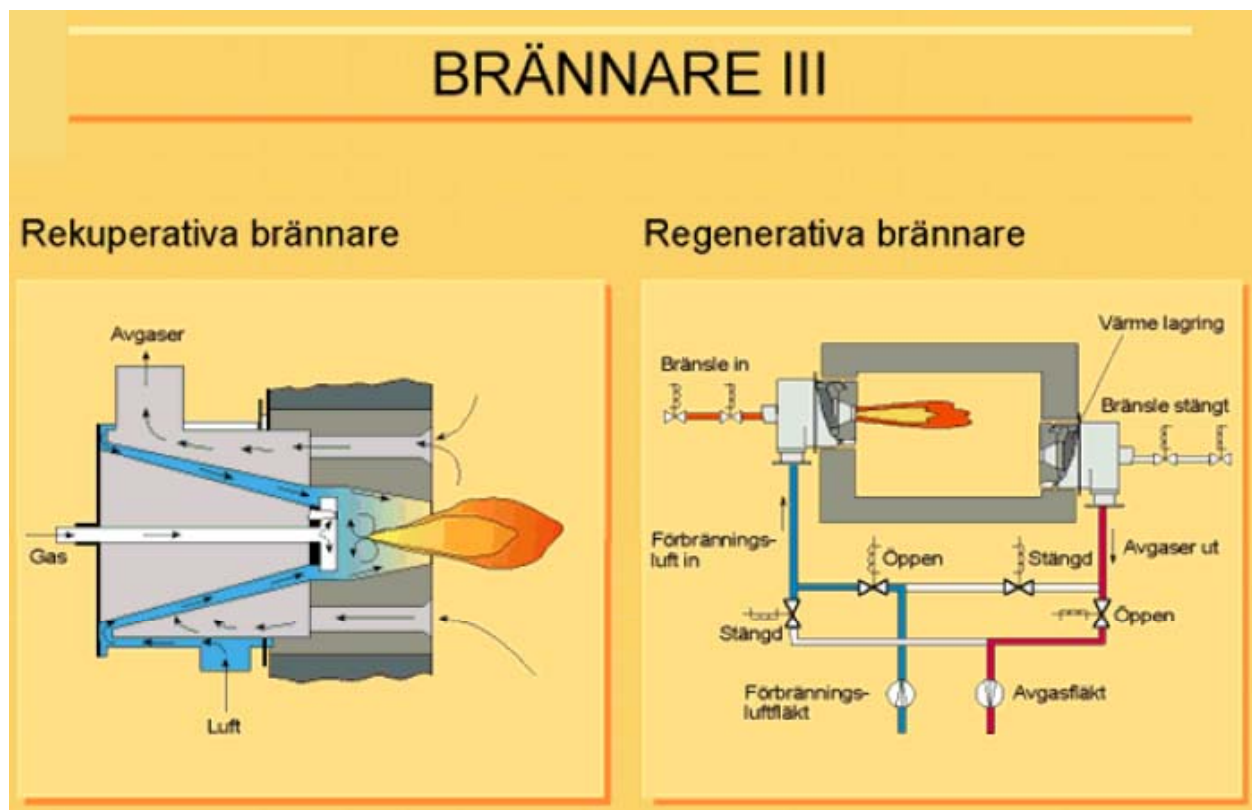
Oxy-fuel brännare



Figur 7-5:6

5.2.3 Speciellt energieffektiva brännare

Brännare har vidareutvecklats för att minska bränsleåtgången. Det finns två huvudtyper: rekuperativa och regenerativa brännare.



Figur 7-5:7

I *rekuperativa* brännare bortförs avgaser från ugnen hela tiden genom varje brännare. De heta ugnsgaserna värmer ingående förbränningsluft via en värmeväxlare som finns inbyggd i brännaren.

I *regenerativa* brännare samverkar två brännare, A och B, så att när A brinner går avgaser från ugnen ut genom B. I avgaskanalerna från A respektive B finns värmeupptagande "lager" som värms av avgaserna. Efter ett tag tänds B. Den kalla förbränningsluften passerar B:s värmelager och förvärms. Avgaserna går nu ut genom A och värmer A:s värmelager. Efter ytterligare ett tag tänds A igen och B släcks osv.

5.2.4 Brännare som ger låga halter av kväveoxider

Bildandet av kväveoxider, NO_x , påverkas av många faktorer, som t ex luftkvoten, brännluft-temperaturen, pådraget, ugnstemperaturen och bränslets kväveinnehåll. Även brännarnas utformning påverkar NO_x -bildningen och vissa brännare har utformats speciellt med tanke på att ge låg NO_x -bildning.

Gemensamt för alla "låg- NO_x -brännare" är att de har konstruerats för att ge en så låg syrehalt som möjligt där temperaturen är som högst, alltså i själva flammen. (Hög temperatur och hög syrehalt bidrar till ökad NO_x -bildning). En metod som används är att blanda in förbränningsluften successivt, i två steg, så att förbränningen i första steget sker med för låg luftkvot. En annan metod är att utforma brännaren så att syrefattiga förbränningsgaser vänder tillbaka in mot flammans centrum och därigenom minskar syrehalten i flammans hetaste område.

5.3 Infodring

5.3.1 Infodring – allmänt

För att behålla värme inom någonting, oss själva, vårt hus eller en ugn, använder vi material som är dåliga på att leda värme, s k isolermaterial. Då vi fryser tar vi på oss flera lager kläder, som helst skall innesluta så mycket luft som möjligt (t ex en tjock stickad tröja) för att vi skall behålla värmen. Luft som hålls på plats i små "celler" är bra isolermaterial.

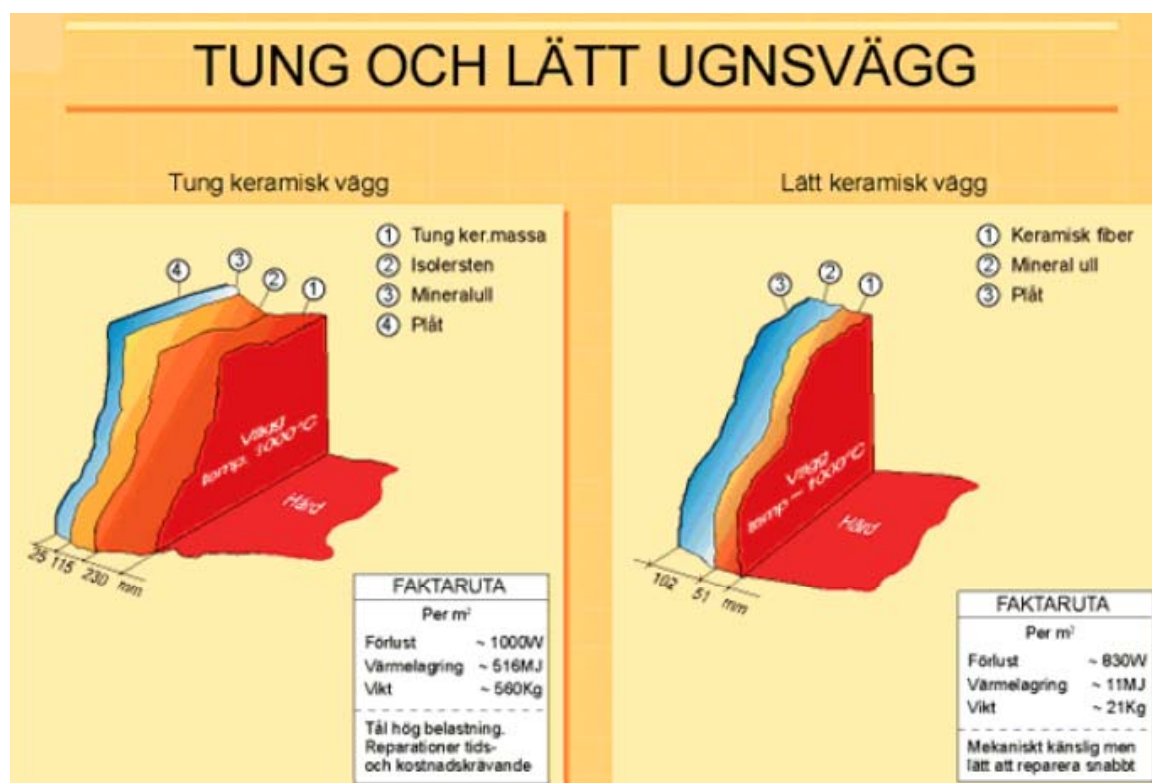
Även en ugn måste "kläs på", för att kunna hålla sin temperatur. Även här gäller det att "kläder-na" helst skall hålla så mycket luft som möjligt, det vill säga de skall vara av poröst material. Isolermaterial kallas i ugnssammanhang för infodring.

5.3.2 Ugnsinfodring

Sedan länge används keramiska material som t ex tegel som infodringsmaterial. Porösa keramiska material är dock känsliga för mekanisk påverkan som kan uppstå om t ex ämnen skrapar mot väggen. Dessutom tål de ej de högsta förekommande ugnstemperaturerna. Därför byggs ugnsväggen upp med hjälp av flera olika skikt. Innerst finns ett tätt och relativt tungt och tåligt material. Utanför kommer därefter de lättare och bättre isolerande skikten och ytterst har man det bästa isolerskiktet.

I de fall då temperaturen ej är extremt hög, och det inte finns någon risk för mekanisk påverkan, används ofta keramiska fibermaterial av olika kvalitet som enda isolering. Dessa är lätta och isolerar mycket bra.

Skillnaden i isoleringsförmåga mellan de täta, tunga och de porösa, lätta materialen kan vara t ex 20 gånger, dvs täta, tunga material "släpper igenom" 20 gånger mer energi än vad porösa, lätta material gör. Tunga och lätta infodringsmaterial har dock samma kemiska sammansättning. Figur 7-5:8 visar exempel på värmeförluster genom ugnsväggar uppbyggda på olika sätt.



Figur 7-5:8

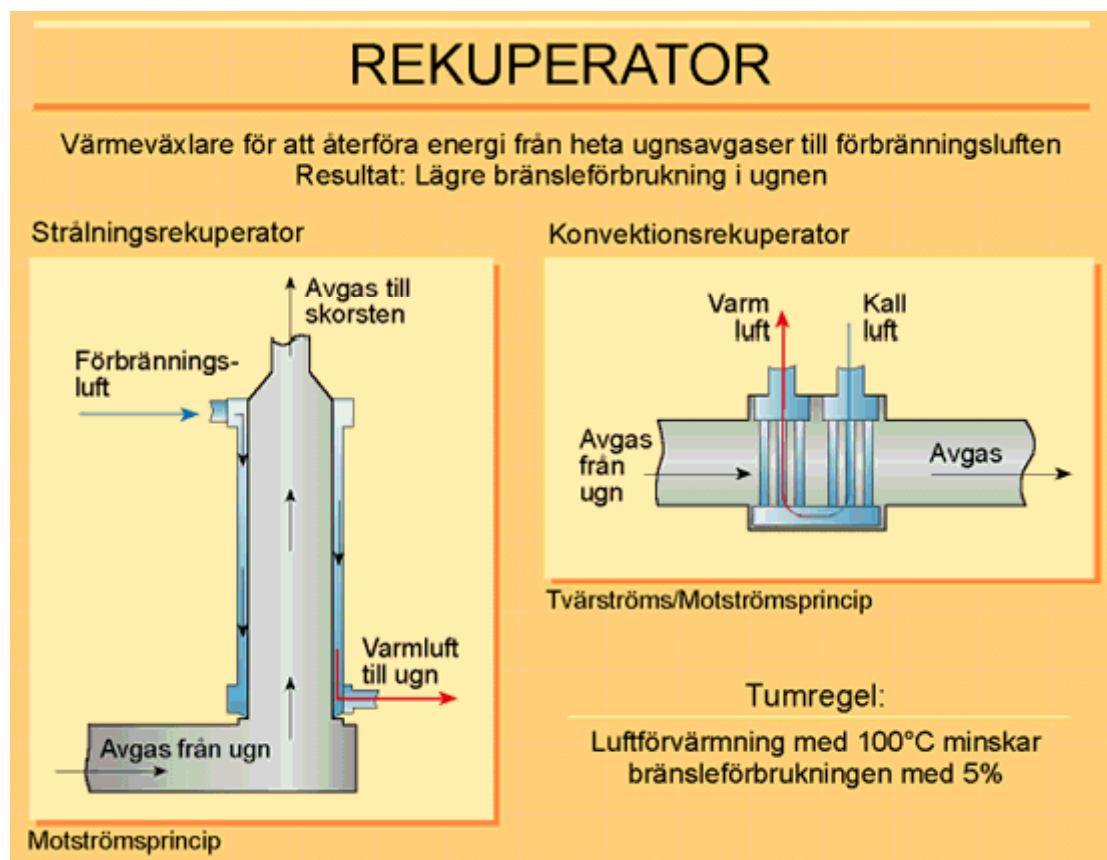
Tänk på att:

- ny infodring, som monteras i en ugn, innehåller bundet vatten, s k kristallvatten. Detta avgår från infodringen vid en temperatur av ca 200°C vid den s k torkeldningen. Det är *mycket viktigt* att torkeldningen sker försiktigt, så att temperaturnivån 200°C passeras långsamt, så att ångsprängning eller uppkomst av sprickor undviks när kristallvattnet avgår. Livslängden hos infodringen förkortas avsevärt om försiktighet ej har iakttagits.
- täta keramiska material är känsliga för snabba temperaturändringar. Det kan uppstå inre spänningar i materialet p g a kemiska omvandlingar. I värsta fall förstörs ugnsinfodringen!
Temperaturer omkring 550-600°C är speciellt farliga.
- i ugnar med skyddsgasatmosfär måste gasen och ugnsväggarna rent kemiskt kunna "trivas med varandra". Vid olämpliga kombinationer av gassammansättning och väggmaterial påverkar de varandra och väggen kan förstöras.
- använda munskydd vid allt arbete med keramiska fibermaterial.

5.4 Rekuperator

Från varje bränseleddad ugn avgår heta avgaser. Dessa kan ha temperaturer upp till 800°C. Avgaserna innehåller mycket energi som helst skulle återföras till ugnen på något sätt för att därigenom minska bränsleförbrukningen.

Ett vanligt sätt är återföra energi till ugnen är att förvärma inkommande kall förbränningsluft med energi från utgående varma ugnsgaser. Detta sker med hjälp av en värmeväxlare som kallas rekuperator.



Figur 7-5:9

5.4.1 Varför minskar bränsleförbrukningen med en rekuperator?

Förenklat kan man säga att bränsle och kall luft förbränns till gaser som har en temperatur på kanske 1200°C. Energin som åtgår för att åstadkomma denna höga temperatur på gaserna tillförs i form av bränsle.

Om nu förbränningsluften redan innan förbränningen har en temperatur på 400°C genom att den värmts med "gratis" avgasenergi i rekuperatorn åtgår väsentligt mindre bränsle för att åstadkomma den önskade gastemperaturen i ugnen.

5.4.2 Hur mycket minskar bränsleförbrukningen?

Som en tumregel kan nämnas att för varje 100-tal grader som förbränningsluften värms så minskar bränsleförbrukningen med 5 %. Vanliga förvärmningstemperaturer är 300–400°C. Dessa temperaturer medför alltså bränslebesparingar på 15–20 %.

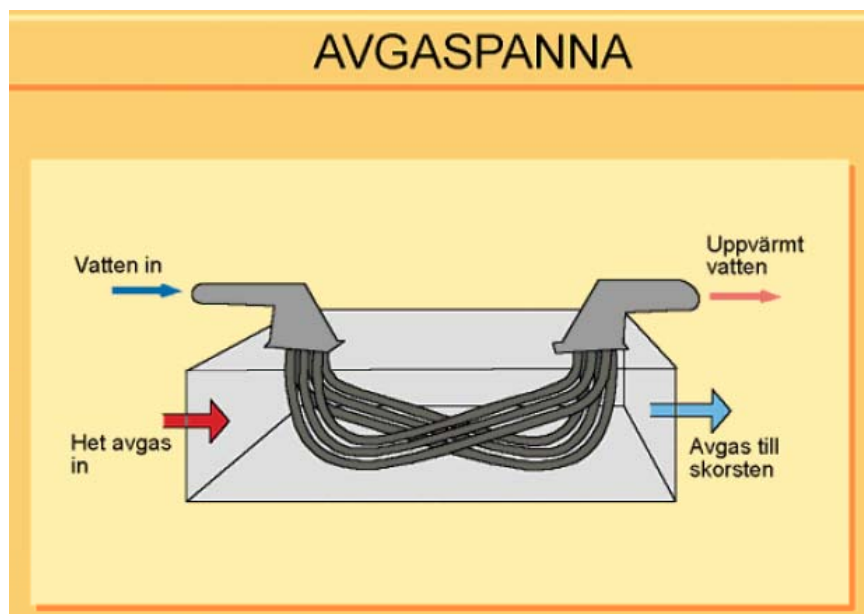
Om förvärmningstemperaturerna överstiger ca 450°C uppstår svårigheter, dels måste dyrare material väljas i rekuperatorer och rörledningar, dels kommer bildningen av miljöfarliga kväveoxider vid förbränningen att öka.

Internt i speciella, s k regenerativa brännare, kan förvärmningstemperaturer, som konstant ligger endast 100–200°C lägre än ugnstemperaturen uppnås.

Anm: I s k regeneratorer kan luft också förvärmas till mycket höga temperaturer, 1100°C. Detta genom att värma en "tegelhög" som sedan får värma ingående förbränningsluft. Helt konstant lufttemperatur på 1100°C kan dock ej åstadkommas. Varmapparaterna i anslutning till masugnar är de största regeneratorer som finns inom stålindustrin. Normalt används 2–4 varmapparater till en masugn.

5.5 Avgaspanna

Den energi, som en värmnings- eller värmebehandlingsugns avgaser innehåller, är betydande även efter rekuperatorn. Avgastemperaturen efter en rekuperator är nämligen i de flesta fall fortfarande så hög som 250–500°C. Ett sätt att återvinna delar av avgasernas energi är att använda avgaspannor.



Figur 7-5:10

Avgaspannans utformning varierar mycket, men kan enklast beskrivas som ett knippe rör i avgaskanalen. Avgaserna strömmar runt omkring rören och inuti dessa strömmar vatten som värms. Man producerar hetvatten eller ånga.

Avgaspannans rör dras aldrig rakt genom avgaskanalen utan hänger oftast som U-formade slingor från kanalens tak. U-formen ger en konstruktion som är okänslig för värmespanningarna som rören annars skulle utsättas för.

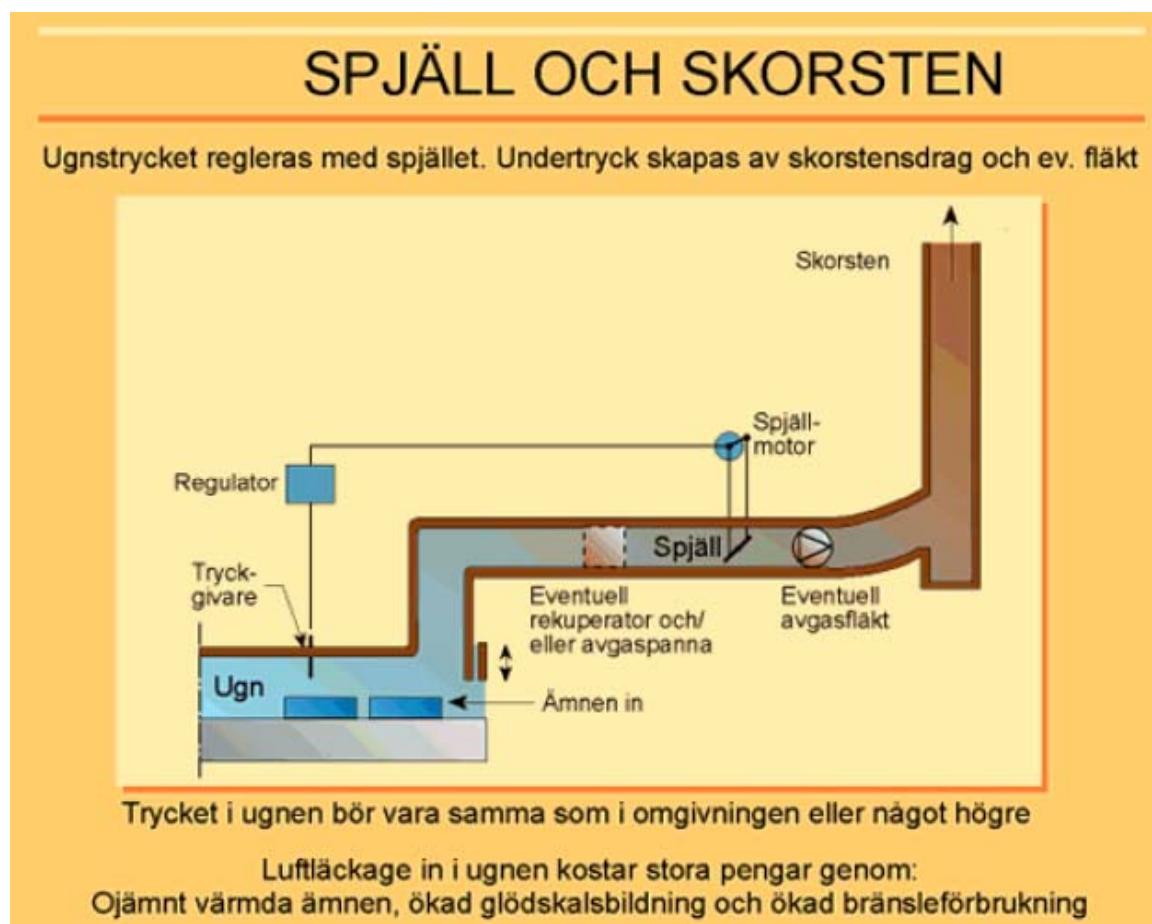
Genom att variera antalet rör kan man bestämma hur stora energimängder som skall överföras till hetvatten eller ånga.

I avgasflöden som innehåller mycket stoft brukar man hänga rören så att U-ets horisontella del av bygeln blir parallell med avgasernas strömningsriktning. Denna horisontella del görs då också så lång som möjligt. Strömningen utmed rören ger nämligen minimalt påslag av stoft som verkar isolerande och hindrar värmeöverföringen.

Anm: Vid extremt höga avgastemperaturer ut ur ugnsrummet sätts dock avgaspannan först för att ta ned temperaturen till en nivå som bättre passar rekuperatorn.

5.6 Spjäll och skorsten

De vid förbränningen bildade avgaserna lämnar ugnen genom en avgaskanal, genom eventuella rekuperatorer och avgaspannor och vidare genom ett spjäll och en ev. fläkt vidare upp genom en skorsten. Ugnsrummet är aldrig riktigt tätt utan ett visst läckage förekommer alltid, och så länge detta är utåt från ugnsrummet till omgivningen betyder det mindre.



Figur 7-5:11

I de fall kallluft däremot läcker in i ugnsrummet tillförs extra syre, och den kalla luften kyler dessutom lokalt. Extrasyret ger ökad glödskaalsbildning. Bränsleförbrukningen ökar snabbt med ökande inläckning.

Det är alltså mycket viktigt att hålla ett korrekt ugnstryck, och det måste följa brännarnas pådrag. Styrningen av ugnstrycket sker på följande sätt:

Ugnstrycket mäts i ett tryckuttag och en tryckomvandlare omvandlar trycket till en elektrisk signal som överförs till en regulator. Regulatorn jämför det uppmätta trycket med det inställda börvärdet och ger spjällmotorn order om att öppna eller stänga avgasspjället. Normalt väljer man ett ugnstryck på omkring 0– +1 mm Vp, men också negativa värden kan förekomma beroende på var tryckuttaget har placerats i ugnsrummet.

Avgasfläkt och skorsten avslutar avgassystemet. Skorstenens höjd har en direkt påverkan på avgasflödets transport ut. Den ger en drageffekt, som är beroende på avgastemperatur och skorstenhöjden. Högre skorsten och högre avgastemperatur ut i skorstenen ger större drageffekt, och om skorstenen ej har för liten diameter kan till och med avgasfläkten utelämnas.

Anm.: Det händer ibland att en ugn kan ryka kraftigt varvid personalen sänker ugnstrycket och rökbildningen minskar eller t o m upphör. I själva verket har rökbildningen egentligen sitt ursprung i att brännarna har fått för litet luft. Med det sänkta ugnstrycket har man ökat luftinläckning i ugnsrummet vilket visserligen kan minska rökbildningen, men samtidigt stiger bränsleförbrukningen på grund av den ökade inläckningen. Ämnena utsätts dessutom för kallluftstråk som orsakar kalla fläckar. Rätt åtgärd hade varit att något öka luften i brännarna men naturligtvis att även kontrollera dem på eventuella fel.

6 Ugnens funktion

6.1 Mätning av ugnens funktion

För att kontrollera ugnens funktion mäter man vissa storheter. Dessa är temperaturer, flöden, avgasanalyser och tryck. För att kunna bedöma om värdena är bra eller dåliga måste hänsyn tas till ugnens produktionstakt.

Materialtemperatur

Materialets temperatur mäts med strålningspyrometer efter glödskalessningen för att se om värmningen har genomförts till rätt nivå. Avvikelse kan innebära att produktionstakten varit avvikande eller att brännarna (reglering, flammhållning, finfördelning etc) eller ugnstrycksregleringen har fungerat dåligt. Zontemperaturerna kan också ha varit felvalda.

6.1.2 Flöden

Ingående bränsle och luft

Ingående bränsle- och luftflöden mäts för ge kontroll över om rätt luftfaktor hålls och om energinsatsen är den rätta för den aktuella produktionstakten.

Kylvattenflöden

Kylvattenflöden bör mätas för att ge underlag till en fullständig bild av vart den energi som tillförs ugnen tar vägen. Det är värdefullt att räkna fram en energibalans som visar alla energiflöden till och från ugnen.

6.1.3 Mätning av avgasernas sammansättning

Syrehalten i avgaserna från ugnen, före rekuperator, bör mätas för att ge en bild av ugnens funktion. Normalt bör syrehalten ligga på ca 3 %. Om den ligger högre tyder det på luftöverskott vid förbränningen och/eller luftläckage in i ugnen. Om den ligger lägre tyder det på för låg luftfaktor vid förbränningen.

I vissa eldningsanläggningar som arbetar med höga effekter och därmed kan ge stora utsläpp, krävs numera att NO_x-utsläppen kontinuerligt övervakas.

Anm: I processer som genererar brännbara gaser mäts även värmevärdet på gasen.

6.1.4 Ugnstryck

För att kunna hålla ugnstrycket på en lämplig nivå, måste man mäta detta. Mätningen görs med en tryckgivare som omvandlar trycket till en elektrisk signal. Eftersom trycket oftast är relativt litet, kanske upp till +/- 20 Pa (2 mm Vp), krävs en tryckgivare som har stor noggrannhet vid låga tryck.

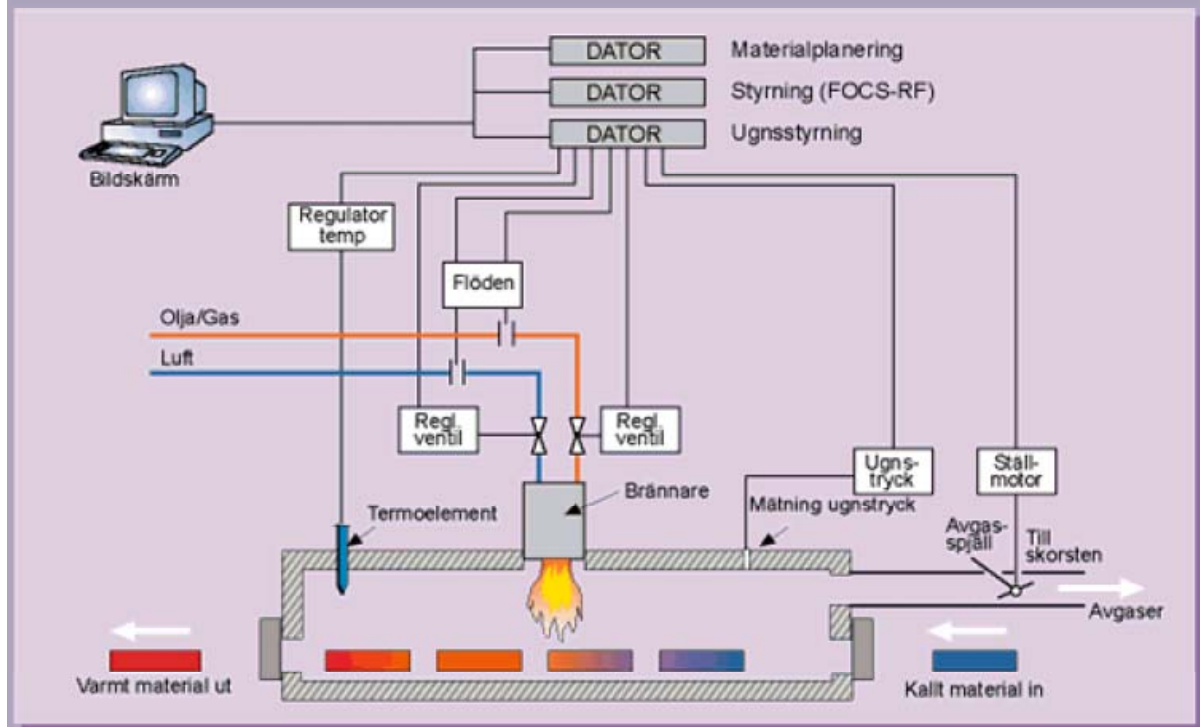
Trycket mäts oftast i ugnens utmatningsände, där temperaturen är högst och därmed också risken störst för oönskad glödskalessbildning vid inläckning av luft. Placeringen av mätuttaget är viktig eftersom ugnstrycket kan variera lokalt, speciellt i närheten av brännarna.

6.2 Ugnens reglering

En ugn måste alltid regleras – manuellt eller automatiskt – för att önskat värmningsresultat skall uppnås. Normalt är ugnen utrustad med någon form av automatisk reglering. I nödfall kan ugnen regleras manuellt.

Ibland måste ugnspersonalen under *korta* tidsperioder gå in i ett automatiskt system för att styra manuellt. Ett stopp i efterföljande valsverk ger kanske långa väntetider och då måste man ibland dra ned temperaturen eller göra något annat manuellt ingrepp. Även denna form av ingrepp automatiseras alltmer.

UGNENS REGLERING



Figur 7-6:2

6.2.1 Zontemperaturer

Vanligast är reglering av ugnstemperaturen. Den görs zonvis med hjälp av elektroniska regulatorer, som numera även innehåller datorer, som kan programmeras på en mängd olika sätt. Varje zon ställs in på en temperatur som väljs så lågt som möjligt, men ändå högt nog för att värmningen skall bli tillräcklig. Vi vill ju inte övervärma materialet med en hög avbränna som följd.

Den önskade zontemperaturen ställs in på aktuell regulator. Termoelement i ugnsrummet mäter den aktuella ugnstemperaturen. Den önskade temperaturen kallas *börvärdet* och den uppmätta *ärvärdet*. Avviker dessa från varandra ökar eller minskar regulatorn pådraget till brännarna för att ändra på ärvärdet, så att avvikelsen minskar eller helst försvinner.

En måttlig ökning av ugnens produktion medför att ärvärdet för zontemperaturen sjunker. Detta känner regulatorn av och ökar pådraget till brännarna, och den önskade zontemperaturen återställs.

Vid större ökning i produktionen måste man även höja zontemperaturen för att ugnen skall hinna värma materialet. Värmeöverföringen beror ju bland annat på temperaturdifferensen mellan material och ugnsgas. Ökas differensen, så ökar energiöverföringen och därmed värmningshastigheten. Detta gäller så länge det värmda materialet hinner transportera energin inåt centrum. Då denna energitransport har nått sitt högsta värde kan uppvärmningshastigheten ej längre ökas. Detta värde kan beräknas. Försöker man höja värmningshastigheten över denna gräns bränner man materialytan.

En minskning av ugnens produktion leder på motsvarande sätt till att pådraget till brännarna minskar.

I regulatorn finns en mängd kretsar som behandlar signalerna på olika sätt beroende på om en förändring inträffar snabbt eller långsamt, eller om långvariga mindre avvikelser i zontemperaturen finns.

6.2.2 Kvotreglering

Temperaturregleringen i varje ugnszon är i regel kompletterad med en kvotreglering som ger rätt förhållande mellan luft- och bränslemängder till brännarna över hela reglerområdet. Denna kvotreglering baseras på uppmätta bränsle- och luftflöden till brännarsystemet. Operatören har möjlighet att manuellt ställa in olika börvärden.

6.2.3 Ugnstryck

Ugnstrycket regleras med avgasspjället eller med en varvtalsstyrd fläkt. Trycket bör hållas något över omgivningens tryck. Därmed fås minsta möjliga inläckage av luft i ugnen. Samtidigt läcker endast begränsade mängder avgaser ut ur ugnen.

Det är alltså bättre med ett litet utläckage av avgaser än ett inläckage av luft, eftersom inläckningen medför avkylning av ugnsgaserna och höjer syrehalten. Inläckning av luft medför också en klart högre bränsleförbrukning liksom ökad glödsksalsbildning.

6.2.4 O₂-reglering

Det förekommer i en del fall reglering av O₂-halten genom separat mätning av O₂ i avgaserna och en automatisk justering av luftflödet till brännarna. Systemet kan fungera bra om ugnen är tät, men det är mindre bra om ugnsrummet är otätt och det läcker in kallluft i ugnen. Mätssystemet känner då det extra syret som tillförts med läckageluft och kompenserar med att minska förbränningsluften.

Är läckagen riktigt stora kan den påtvingade minskningen av förbränningsluften bli så stor att brännarna körs med för litet luft. Flammorna börjar då ryka kraftigt och förbränningen fortsätter ibland ute i avgaskanalen. Bränsleförbrukningen ökar kraftigt, och det kan vara svårt att förstå skälet till detta.

Lösningen på detta problem är en relativt kraftig höjning av ugnstrycket så att läckaget minskas.

6.2.5 FOCS

Ett speciellt styrsystem har utvecklats vid MEFOS i Luleå och kallas för FOCS (Fuel Optimizing Control System). Systemet bygger i korthet på att en dator får göra värningsberäkningarna, och beräkningsresultatet ligger sedan till grund för styrningen av ugnen och dess pådrag.

Systemet innehåller funktioner för materialföljning, bränsleoptimering och stilleståndsreglering, programstyrd upp- och nedkörning, operatörskommunikation, kommunikation med andra datorer, loggning och larm.

Bränslebesparingar på över 10 % har uppnåtts genom användning av FOCS. Dessutom har minskade glödsksalsförluster och förbättrade materialegenskaper hos den färdiga produkten noterats.

6.2.6 Reglering av elugnar

Elugnar med motståndselement styrs i regel genom tyristorssystem som reglerar strömmen genom elementen. Två huvudtyper av tyristorreglering finns, fasvinkelstyrning och pulstågstyrning. Man föredrar den senare då den ger minimal störning på elnätet.

Induktionsugnarna har roterande eller statiska omformare och tyristorssystem för själva effektstyrningen.

6.3 Energibalans

En redovisning av vilka energiflöden som tillförs den enhet som studeras (ugn, panna eller annan utrustning) och vilka som bortförs kallas för en energibalans.

För alla utrustningar gäller: **Tillförd energi = Bortförd energi**

6.3.1 Krav på energibalansen

En redovisning av en energibalans bör uppfylla följande krav:

- Alla energiflöden av praktisk betydelse skall framgå.
- Den valda systemgränsen skall klart framgå. Det är energiflödenas storlek, när de passerar denna gräns, som beräknas.
- Energibalansen skall vara entydig och lättläst.
- Förutsättningarna som gäller bör kommenteras anslutning till balansen.

6.3.2 Vilken nytta kan man ha av en energibalans?

Några viktiga fördelar med att ta fram energibalansen för t ex en ugn anges nedan:

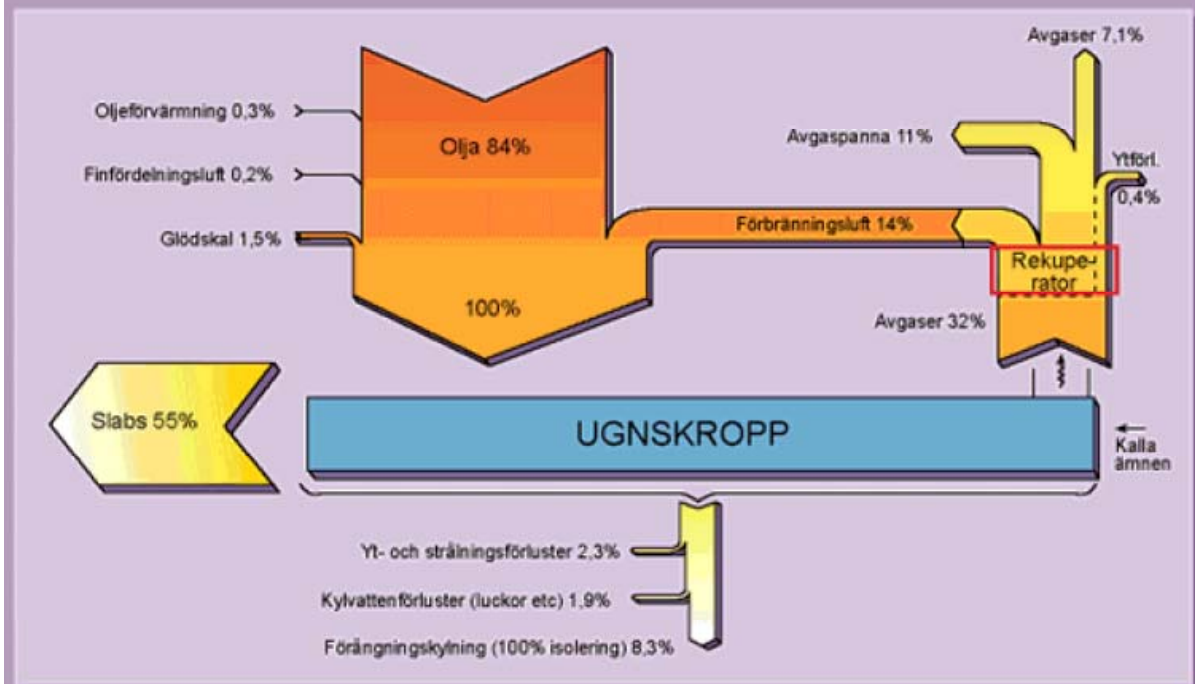
- Balansen ger värdefull information om ugnens energimässiga funktion.
- Personalen blir medveten om vilka energiflöden som är stora och vilka som är små.
- Prioritering mellan olika tänkbara åtgärder för effektivare ugnsdrift underlättas.
- Felaktigheter i ugnen kan avslöjas genom att energibalansen inte "går ihop", dvs det är stor skillnad mellan tillförd och bortförd energi.

6.3.3 Exempel på energibalans

Ett exempel på en energibalans (i form av ett sk sankeydiagram) för en stor stegbalksugn med rekuperator visas i figur 7-6:3 nedan.

ENERGIBALANS FÖR STEGBALKSUGN

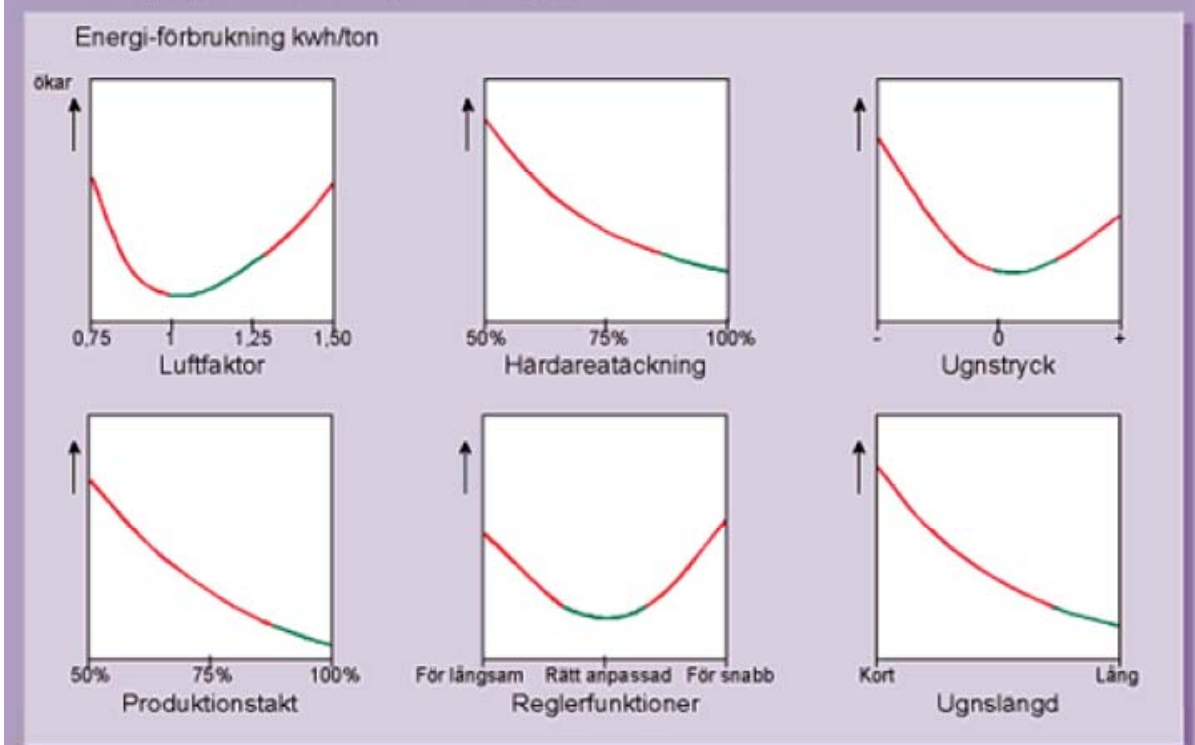
För alla ugnar gäller att: Tillförd energi = bortförd energi



Figur 7-6:3

VIKTIGT FÖR EFFEKTIV UGNSDRIFT

Exempel på faktorer som påverkar ugnsdriften



Figur 7-6:4

6.4 Viktigt för effektiv ugnsdrift

För att en effektiv ugnsdrift skall kunna erhållas måste ett antal villkor vara uppfyllda (figur 7-6:4).

6.4.1 Ugnslängden

Ugnslängden måste vara anpassad för den önskade produktionen, så att ämnena hinner värmas till sin sluttemperatur och dessutom uppvisa en jämn temperaturprofil. Ugnarnas mörkzon är ganska ofta i kortaste laget, vilket medför att avgastemperaturen kan bli onödigt hög och därmed även förlusterna. Den första delen av värmningen släpar därmed också efter, vilket ökar belastningen på närmast efterföljande brännarzon.

6.4.2 Härdareatäckning

Med härdareatäckning anges hur stor del av den totala härdytan som är täckt med ämnen. Finns det bara några ämnen på härden hinner ej avgaserna lämna ifrån sig sin energi innan de har passerat dem. Avgastemperaturen stiger då och ger ökande förluster. En helt fylld härd tar upp en avsevärt större del av avgasernas energi. Mycket korta ämnen läggs ofta i flera rader för att härdarean skall utnyttjas bättre.

6.4.3 Produktionstakt/optimal värmningskurva

Dessa båda faktorer går hand i hand.

En hög produktionstakt innebär att ugnen utnyttjas effektivt. Den värmer mycket material på kort tid. Man kan jämföra med husmodern som bakar. Hon vill fylla ugnen så mycket som möjligt för att snabbt klara av baket i stället för att lägga in några bullar åt gången och upprepa detta många gånger. Ugnen måste hållas på sin baktemperatur under lång tid, vilket drar mycket energi för en viss produktion.

Alltså: Fyll ugnen så väl som möjligt och tag ut materialet så snart det är färdigvärt!

Den optimala värmningskurvan måste också hållas hela tiden för att materialet skall vara helt genomvärt då det lämnar ugnen. Upprepade stopp i efterföljande verksdelar inverkar negativt, eftersom produktionstakten minskas och materialet får ligga onödigt länge i ugnen. Detta gör dels att avgasförlusterna från ugnen ökar, dels att onödig stor avbränna (glödsksalsbildning) och/eller avkolning sker.

6.4.4 Korrekt ugnstryck

Ugnstrycket spelar en mycket viktig roll för ugnens driftekonomi. Undvik för *lågt* tryck, som ger inläckning av kallluft. Sker inläckningen i slutzonen ökar glödsksalsbildningen. Det beror på att temperaturen är hög och att syrehalten stigit lokalt genom inläckningen. Bränsleförbrukningen stiger dessutom kraftigt. Orsaken till detta är att läckluften, som håller omgivningstemperatur, måste värmas till avgasernas temperatur innan den lämnar ugnen.

För högt ugnstryck ger också dålig driftsekonomi. Heta ugnsgaser går då direkt ut i lokalen utan att värma materialet. Högt ugnstryck kan även ge försämrad arbetsmiljö för driftpersonalen, speciellt vid eldning av svavelhaltig olja som bildar svaveloxider vid förbränningen.

6.4.5 Bra reglersystem

Ugnens reglersystem måste fungera riktigt utan några onödiga svängningar. Alla temperatursvängningar ger upphov till högre bränsleförbrukning. Man kan jämföra det med ryckig bilkörning som ger högre bensinförbrukning än lugn och jämn körning. Temperaturavvikelser skall dessutom korrigeras så snabbt som möjligt utan översvängningar.

Anm: En viktig punkt vid underhåll av reglersystemet är att termoelementbyten görs korrekt. Det nya elementet måste monteras med exakt samma instickslängd i ugnsrummet som det gamla. Ett fel på endast några millimeter kan ge ett temperaturfel på 10–20°C. Har elementet ej stuckits in lika långt utan visar för låg temperatur ökar regulatorn brännarpådraget och bränsleförbrukningen skjuter i höjden. Inget synbart fel kan iakttagas. Samma effekt erhålls om kallluft tillåts läcka in utmed elementet.

6.4.6 Produktionsplanering

För att kunna utnyttja en ugn så effektivt som möjligt måste den helst arbeta med en jämn belastning. Planeringen av hur de olika materialposterna skall värmas är då mycket viktig. Alla likartade materialtyper skall värmas efter varandra och ej blandas. En blandning av material kan leda till att en post skall värmas till 1200°C och nästa till 1150°C. Sedan kanske det åter kommer material som skall värmas till 1200°C.

Dessa ideliga ändringar av ugnstemperaturerna innebär att man måste vänta på att korrekt temperatur har uppnåtts vid varje ändring (speciellt vid ändring uppåt). All sådan väntan kostar pengar! I praktiken är det mycket svårt att värma alla ämnen till rätta temperaturer vid en sådan produktionsuppläggning.

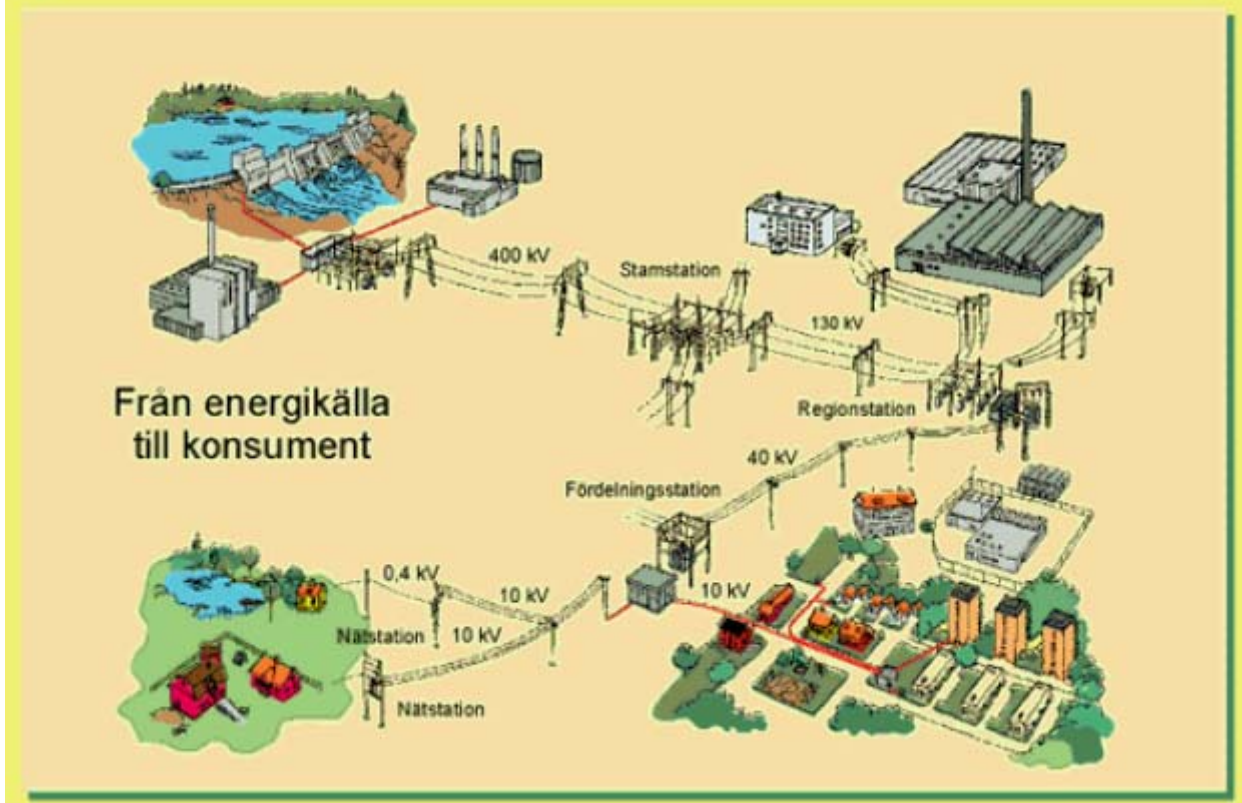
7 Mediaförsörjning

7.1 Elenergi

Energiformen el har många fördelar. Den är lätt att mäta och reglera och den är användbar för de flesta energikrävande ändamål. Den ger dessutom miljöfördelar jämfört med att använda bränslen.

Inom stålindustrin gör el det möjligt att på ett energieffektivt sätt åstadkomma mycket höga temperaturer, t ex i ugnar för skrotsmältning. Några nackdelar är att elenergi inte kan lagras utan måste produceras i samma ögonblick som den förbrukas, och att den har ett högre pris än övriga energislag, om man räknar per inköpt kWh.

ELDISTRIBUTION



Figur 7-7:1

Från stora kraftverk levereras elektricitet vid en hög spänning, upp till 400 000 volt, dvs 400 kiloVolt (kV), för att minimera förluster i kraftledningar vid transport över längre avstånd. Spänningen transformeras efter transporten ner till t ex 130 kV.

Stålverk köper i regel el vid en spänning av just 130 kV. Det finns dock även företag som köper vid ännu lägre spänning (t ex 40 kV). Elenergi levereras till stålverkets mottagningsstation, där det finns transformatorer och säkerhetsutrustning. Säkerhetsutrustningen kopplar ifrån transformatorerna, om något allvarligt fel inträffar hos företaget eller på kraftledningen.

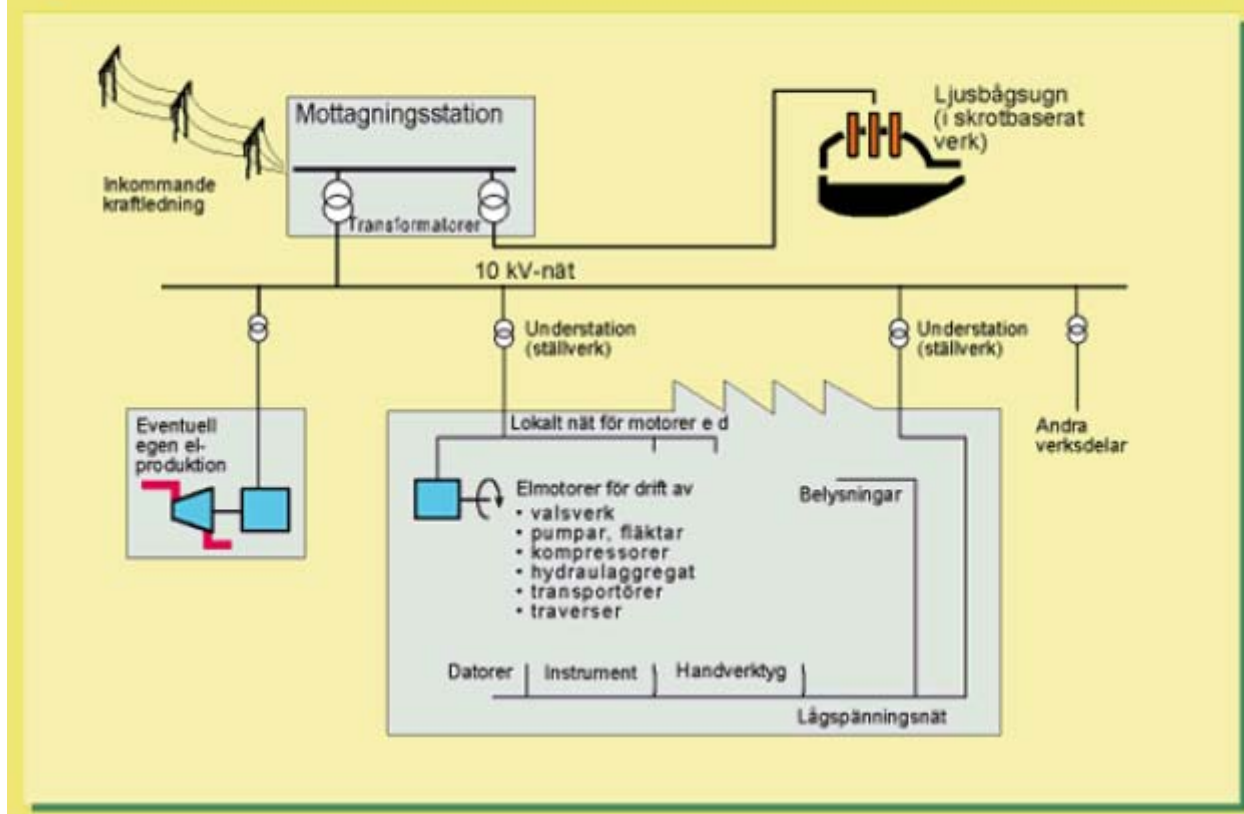
Mottagningsstationen transformerar ned spänningen till 10 kV, vilket används vid den interna distributionen inom verket. Ute vid utrustningar och avdelningar som är större elanvändare placeras understationer och mindre ställverk. Där transformeras spänningen till lämplig nivå för olika utrustningar – några kV för de största motorerna, 660, 500 eller 380 volt för mellanstora motorer och 220 volt för de minsta motorerna, belysning, kontorsmaskiner mm.

I ställverken kan spänningen brytas till enskilda större utrustningar, t ex vid reparations- och underhållsarbeten, utan att göra hela avdelningen spänningslös.

Elenergi används inom stålindustrin främst för drift av elmotorer, skrotsmältning i ljusbågsugnar och induktionsugnar samt värmning i elugnar.

För att effektivisera driften av elmotorer blir det allt vanligare med varvtalstyrning genom att ändra frekvensen till motorn med hjälp av s k frekvensomriktare. Det är ibland fullt möjligt att med denna teknik halvera elanvändningen i en pump eller fläkt. Elmotorer som går på dellast påverkar elnätet ogynnsamt – man brukar säga att de fasvrider nätet. För att kompensera detta installeras kondensatorer.

ELSYSTEM



Figur 7-7:2

Utrustningarna hos ett stålverk kan påverka distributionsnätet både innanför och utanför företaget. När ljusbågsugnar är i drift krävs mycket stora effekter, som dessutom snabbt kan variera i storlek, vilket kräver att elleverantören ögonblickligen kan leverera elenergi utan att spänningen sjunker nämnvärt. På vissa stålorter kan dessa störningar resultera i att lampor, även utanför verket, blinkar ibland.

En elektrisk ugn med motståndselement (samma princip som brödrosten i bostaden) är i regel en enkel installation att mata med el. Den skapar få störningar på nätet.

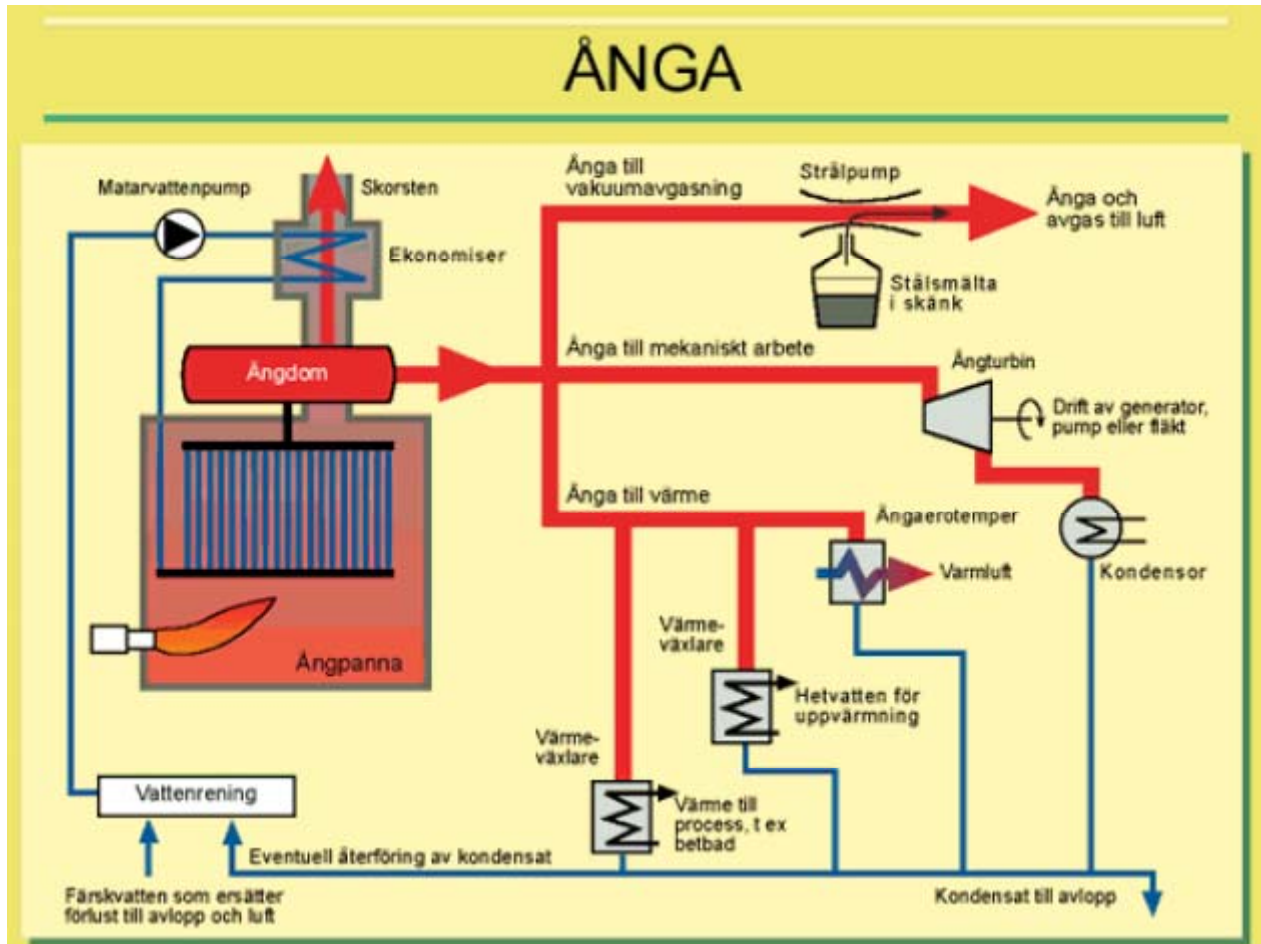
Sammanfattningsvis gäller att elenergi är en bekväm energiform, som passar många av stålverkens behov. Elenergi är samtidigt en förädlad energiform, vars värde avspeglas i priset, och den bör användas med varsamhet och på ett så effektivt sätt som möjligt.

7.2 Ånga

Inom många verk finns ångsystem som täcker stora delar av verksamheten. Ångan används till exempel för att värma lokaler via ångaeroterpar, för att värma betbad etc, och för att producera hetvatten till mindre lokala värmenät inom delar av ett verk. Dessutom används ånga för att åstadkomma vakuum, med så kallade strålpumpar, som behövs i stålverket för att avgasa flytande stål. Denna vakuumframställning, som kanske svarar för mindre än 10 % av den totala ångförbrukningen, är normalt den enda ångförbrukning som inte kan ersättas med hetvatten eller annan energi.

Ångan produceras i en eller flera bränsleeldade ångpannor. Även elångpannor kan förekomma. Inom flera svenska verk finns även avgaspannor, efter exempelvis värmugnar och LD-konverterar, som producerar ånga. Ångsystem inom verken arbetar med så kallad mättad ånga vid måttliga tryck, upp till ca 10–40 bar och temperaturer på ca 180–250°C.

Anm: Ångsystem i kraftverk har tryck upp till ca 200 bar och temperaturer upp mot 600°C.



Figur 7-7:3

Några nyckelkomponenter som är speciella för ångpannor:

- Matarvattenpump som pumpar upp matarvattnet till panntrycket.
- Ekonomiser som förvärmer inkommande matarvatten med avgasenergi.
- Värmeupptagande ytor i pannan - väggar av vattenkylda rör i vilka ånga produceras.
- Ångdom, som dels är en vätskebehållare där matarvatten tas in i pannan, dels ett kärl där den genererade ångan separeras från pannvattnet

Ångan distribueras i rör ut till ångförbrukarna. När ångan avger värme kondenserar den och blir vatten vid mätnadstemperaturen, 100–150°C. Detta vatten kallas kondensat och borde ur energisynpunkt återföras till ångpannan för att åter kokas till ånga. I svenska verk återförs dock endast en mindre del av kondensatet och merparten går ner i avloppet.

Verkningsgraden för en ångpanna kan ligga mellan 60 och 90 %. Ångsystemet har ofta relativt stora förluster genom värmeförluster från heta ångledningar och genom kondensatförlusterna.

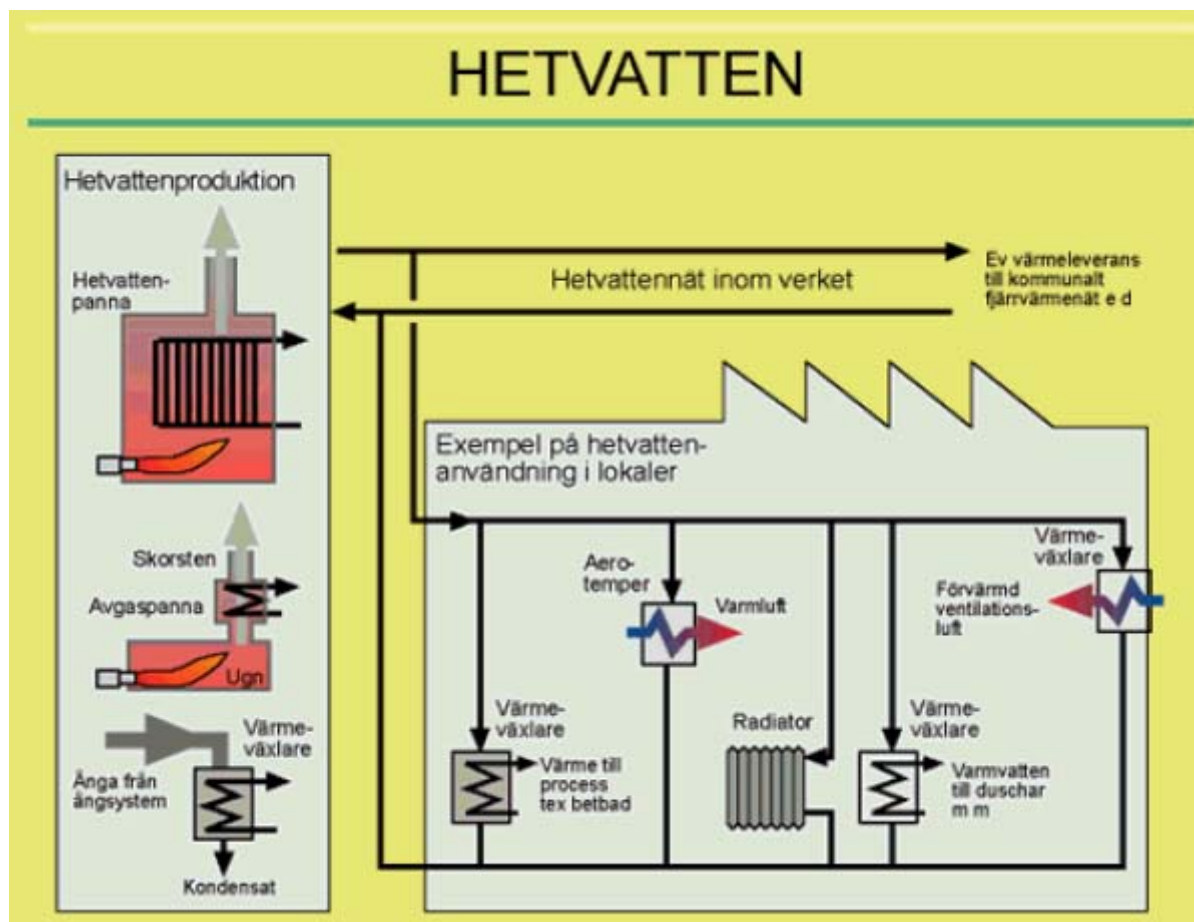
Av det bränsle som tillförs ångpannan under ett år kanske inte mer än hälften blir nyttig värme, resten blir förluster. Under vår, sommar och höst, när ångbehovet är litet, går ångpannan på låg last och därmed dålig verkningsgrad, och de totala förlusterna kan uppgå till hela 70–90 % av tillförd energi i bränslet.

Ånga kan alltså vid ogynnsamma driftförhållanden och systemutformningar vara ett *mycket dyrt* medium.

7.3 Hetvatten

Inom ett verk behövs värme för att värma lokaler via radiatorer och aerotemperar, värma ventilationsluft, värma tappvarmvatten för t ex duschar, värma betbad mm.

Värmen produceras normalt på några få ställen inom området och distribueras lämpligen i form av hetvatten till förbrukarna i ett omfattande slutet rörsystem. Grundprincipen är ungefär densamma som för värmesystem i en villa, som har vattenburen värme.



Figur 7-7:4

Hetvattnet produceras normalt i en panncentral, som innehåller en eller flera gasol- eller oljeeldade pannor och/eller genom kondensering av ånga i värmeväxlare. Undantagsvis finns pannor som kan elda fasta bränslen som t ex kol eller flis.

Ofta finns även elpannor som kan användas under perioder när elenergin är billigare än bränsle, vilket inträffar främst sommartid. Ute i nätet finns ibland avgaspannor, i avgaskanalen efter större ugnar, som producerar hetvatten. Hetvattnet matas in i hetvattennätet och minskar därmed bränsleförbrukningen i panncentralen.

Temperaturnivån på hetvattnet ut från panncentralen varierar med utomhustemperaturen. Är det riktigt kallt ligger temperaturen på ca 100–120°C för att under den varma årstiden ligga på ca 70–80°C. Genom att trycksätta hetvattensystemet kan vattentemperaturer över 100° uppnås utan att vattnet börjar koka. Högre tryck, t ex 5 bar, medför att vattnet kokar först vid 150°C.

Värmeeffekten som behövs i ett hetvattennät beror förstås på hur stort verket är och vilka värmebehov som finns. Den kan dock uppgå till mer än 10 MW med en total värmeförbrukning av 40 000 MWh (motsvarande värmeförbrukningen hos 1600 villor).

Hetvattenpannor kan vara utformade på många olika sätt. Gemensamt för alla pannor är att det tillförda bränslet förbränns i en eldstad, som är försedd med vattenkylda rörslingor, som tar upp energin som frigörs vid förbränningen.

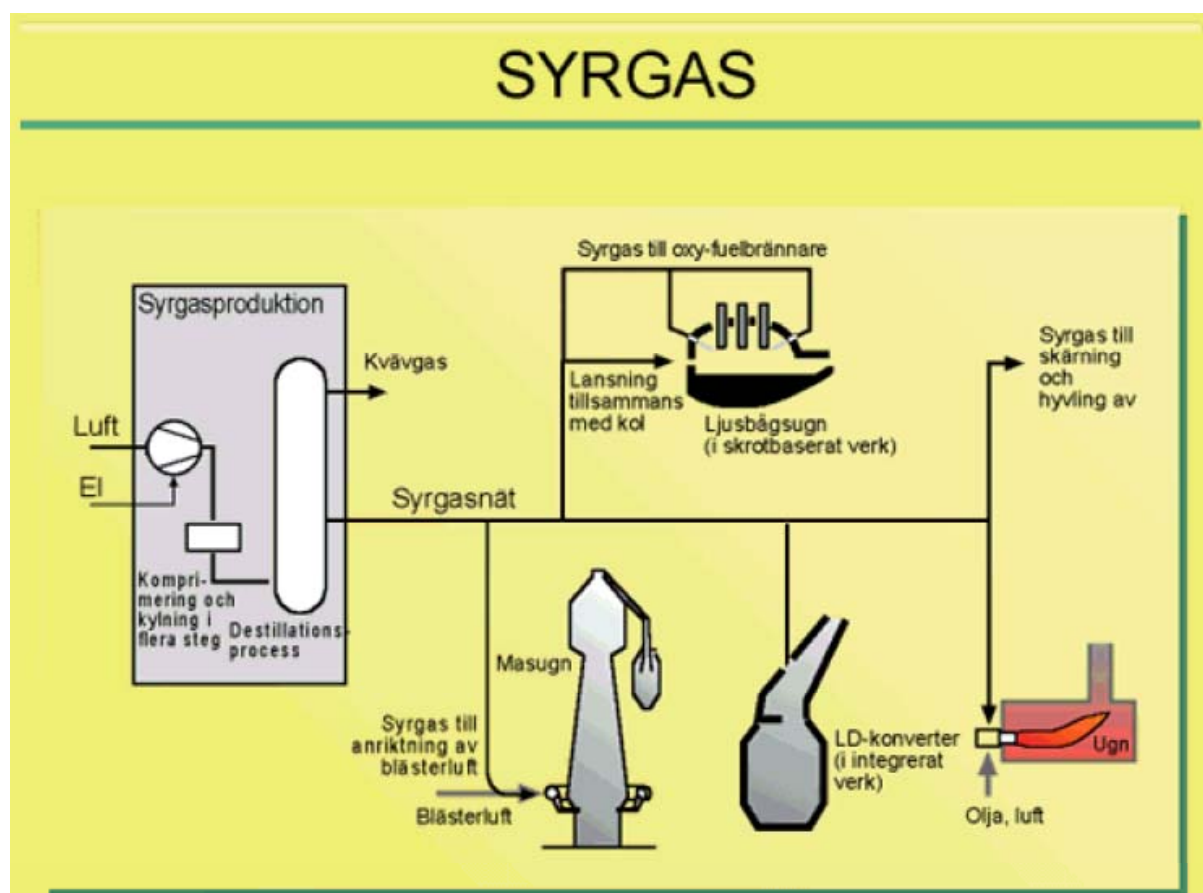
Verkningsgraden för en hetvattenpanna ligger på nivån 75–90 %. Förlusterna utgörs i huvudsak av avgasförluster och värmeförluster genom pannväggarna.

7.4 Syrgas

Syrgas används i allt större omfattning inom stålindustrin. Gasen används i processer som har med reduktion eller förbränning i en eller annan form att göra

7.4.1 Fördelar

Det finns många fördelar med att förbränna bränslen med syrgas i stället för med luft. En fördel är att förbränningstemperaturen blir högre och avgasmängderna väsentligt mindre än vid förbränning med luft (ty luft innehåller barlast i form av stora mängder kvävgas). En annan fördel är att kväveoxidbildningen är mycket låg vid förbränningen, eftersom endast små mängder kväve finns i flammen (om bränslet innehåller kväve).



Figur 7-7:5

7.4.2 Produktion

Luft består av 78 % kväve, 21 % syre och 1 % argon. Ren syrgas (99,9 % renhet) produceras från det syre som finns i luften genom att komprimera, kyla och expandera luften i flera steg. När tillräckligt låg temperatur har uppnåtts, ca -200°C , är luften flytande, och de olika gaserna kväve, syre och argon kan skiljas från varandra genom att de kokar vid olika temperaturer. För produktion av syrgas åtgår elenergi, ca 0,5 kWh per normalkubikmeter.

7.4.3 Användning av syrgas

Inom ett integrerat verk används de största mängderna syrgas i LD-konvertern för att färska råjärn till råstål genom att förbränna kolet i råjärnet. Syrgas används ibland även för att öka syrgasinnehållet i förbränningsluften till brännare eller i blästerluften till masugnar.

I ett skrotbaserat verk används syrgas främst i ljusbågsugnen för lansning (tillförsel genom ett rör, s k lans) tillsammans med kol och i oxy-fuelbrännare samt vid ev behandling av stål i konverter.

För värmning och glödning av stål används syrgas, t ex genom anrikning av förbränningsluften, för att få effektivare förbränning och mindre bränsleförbrukning.

7.4.4 Säkerhetsaspekter

Syrgas distribueras i rör inom verken.

Tänk på att:

- använda rostfria rör vid högre syrgashastigheter i rören.
- använda avfettade rör och andra komponenter för att undvika brandfara. Syrgas i kombination med brännbart material är mycket brandfarligt.

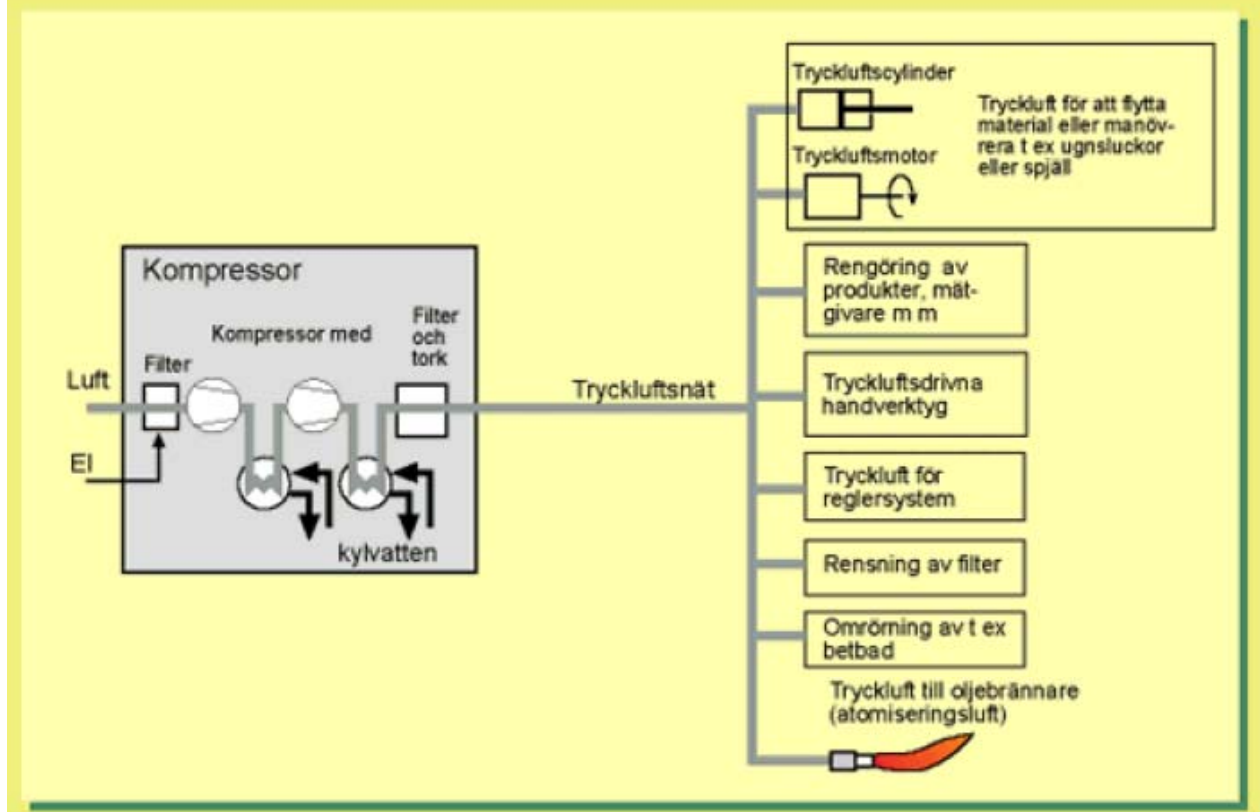
7.5 Tryckluft

7.5.1 Hur produceras tryckluft?

Tryckluft produceras i en kompressor som drivs av en elmotor. Luften som sugas in filtreras först och går sedan in i kompressorn. Vid kompression till ca 7 bar ökar luftens temperatur till 200–300°C. Därefter kyls, filtreras, oljerenas och torkas luften innan den distribueras i ett rörnät inom verket.

I nya anläggningar är s k turbokompressorer och skruvkompressorer vanligast, medan kolvkompressorer ofta finns i äldre anläggningar. Stora kompressorer kan drivas av motorer med eleffekter på flera hundra kilowatt. Det är viktigt att de olika kompressorerna i en stor anläggning samkörs på bästa sätt. Det finns speciella styrutrustningar för detta ändamål.

TRYCKLUFT



Figur 7-7:6

7.5.2 Vad används tryckluften till?

Tryckluft används t ex för att driva tryckluftscylindrar och roterande motorer, för drift av handverktyg, för målning, kylning, renblåsning, för pneumatisk transport av material och även i pneumatiska reglersystem. Tryckluft är således ett mycket användbart medium.

Vid ugnar används tryckluft t ex för att öppna och stänga ugnsluckor, för att reglera ugnsdriften, och för att finfördela oljan i oljebrännare (s k atomiseringsluft).

7.5.3 Energiaspekter

Praktiskt taget all elenergi som tillförs en elmotorkompressor omvandlas till värme. I moderna anläggningar kan merparten av denna värme återvinnas i form av varmt vatten eller luft, som i sin tur kan användas för att värma byggnader (vintertid) och/eller tappvarmvatten.

Tryckluftnäten inom ett järnverk är mycket stora med 1000-tals skarvar, tryckluftsuttag, apparater, cylindrar etc, där läckage ofta förekommer. Tryckluft är ju faktiskt det perfekta läckagemediet eftersom:

- det finns tillgängligt i oändliga mängder (systemet blir inte tomt eftersom det hela tiden produceras ny tryckluft).
- det inte är giftigt eller illaluktande
- det inte är brandfarligt
- det inte smutsar ner

Det är heller inte ovanligt att läckagen i ett stort tryckluftnät kan vara över 50 %. Läckaget som uppstår genom otätheter eller dåligt stängda ventiler etc medför stora förluster som framgår av följande tabell:

<i>Hålets diameter</i>	<i>Extra effektbehov i kompressorn</i>	<i>Extra elenergibehov i kompressorn per dygn</i>
1 mm	0,4 kW	10 kWh/d
5 mm	10 kW	240 kWh/d
10 mm	40 kW	960 kWh/d

Ett hål med diametern 10 mm på tryckluftnätet gör alltså, att kompressorns effektbehov ökar med 40 kW el. Med tanke på att en elvärmad villa drar ca 10 kW el, när det är kallt ute, så är 40 kW för ett litet hål otroligt mycket.

Den energi som "blåser bort" genom ett hål på 10 mm under 4 veckor skulle räcka för att värma upp en villa ett helt år!

7.5.4 Viktigt budskap

TRYCKLUFT ÄR ETT DYRT MEDIUM!

LÄCKAGE KOSTAR STORA PENGAR!

Varje läckageljud bör betraktas som en *ekonomisk varningssignal* som säger att tusenlappar faktiskt "blåser" bort. Hjälptill att hålla tryckluftsystemen så täta som möjligt!

Tryckluft är förvisso mycket användbar men det är ett dyrt medium. *Använd tryckluft bara där det är absolut nödvändigt.* Tänk efter en extra gång om det inte är möjligt att använda en fläkt i stället för att använda tryckluft!

7.6 Kylvatten

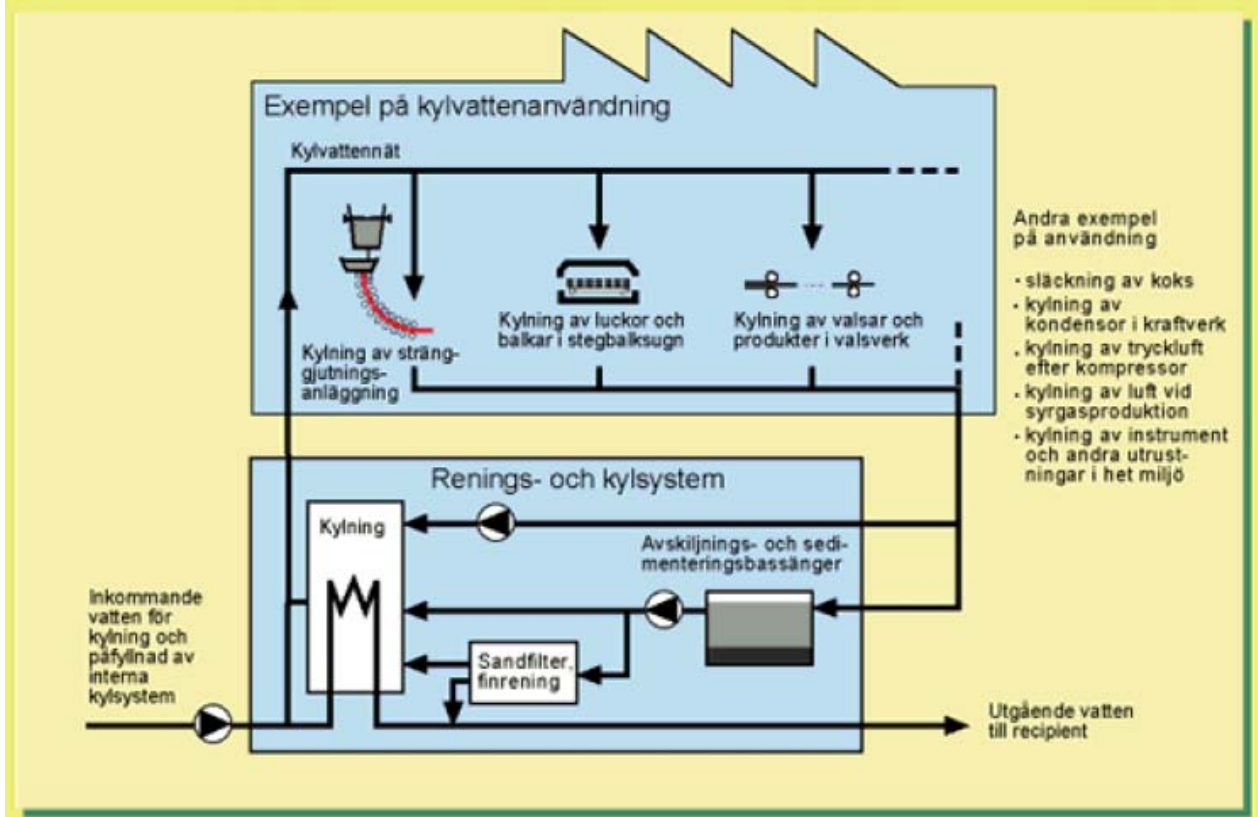
Inom stålindustrin hanteras stål, slagg etc som har temperaturer upp till ca 1600°C. Praktiskt taget alla utrustningar som arbetar med material vid höga temperaturer måste kylas på ett eller annat sätt för att inte förstöras. Inom varje verk finns därför omfattande kylvattensystem.

Vatten kan även användas för att spola bort glödska på ämnen innan valsningen och för att transportera bort glödska som ramlar ner från ämnen i valsverken.

Vanligtvis tas vatten från vattendrag i omgivningen, renas, distribueras ut i verket och släpps tillbaka till vattendraget. Det finns även slutna system, där kylvattnet cirkulerar runt och värms i verkets utrustningar och kylls i speciella vattenkylare eller kyltorn, som avger värme till luften.

Kylvattenflödena kan vara mycket stora, ända upp till flera tusen kubikmeter per timme!

KYLVATTEN



Figur 7-7:7

7.6.1 Energiaspekter

Kylning av en utrustning innebär att energi tas från utrustningen och tillförs kylvattnet som värms. När kylvattnet lämnar verket, eller kyles i speciella kylare, bortförs värme från verket.

Det kan vara avsevärda mängder energi som bortförs från ett verk med kylvatten. I ett av de största svenska verken kan det handla om 1 000 000 MWh per år. Energimässigt är det lika mycket energi som, vad som förbrukas för uppvärmning av 40 000 villor, dvs en stor stad.

Kylvattnet från verket har dock så låg temperatur, på vintern kanske 15°C, att det i praktiken inte kan användas för lokaluppvärmning via vanliga värmesystem.

Varför är kylvattnet så kallt när det är så höga temperaturer i processerna? Det viktigaste skälet är att kylningen hela tiden måste fungera. Om kylvattentemperaturerna skulle tillåtas öka till ca 80°C, som är en vanlig temperatur i värmesystem, skulle det kunna börja koka på utsatta ställen i kylvattensystemet.

Det betyder att ånga bildas, värmeövergångstalet sjunker där systemet är fyllt med ånga, kylningen försämras avsevärt och utrustningen kan skadas av för höga materialtemperaturer. Detta får inte hända!

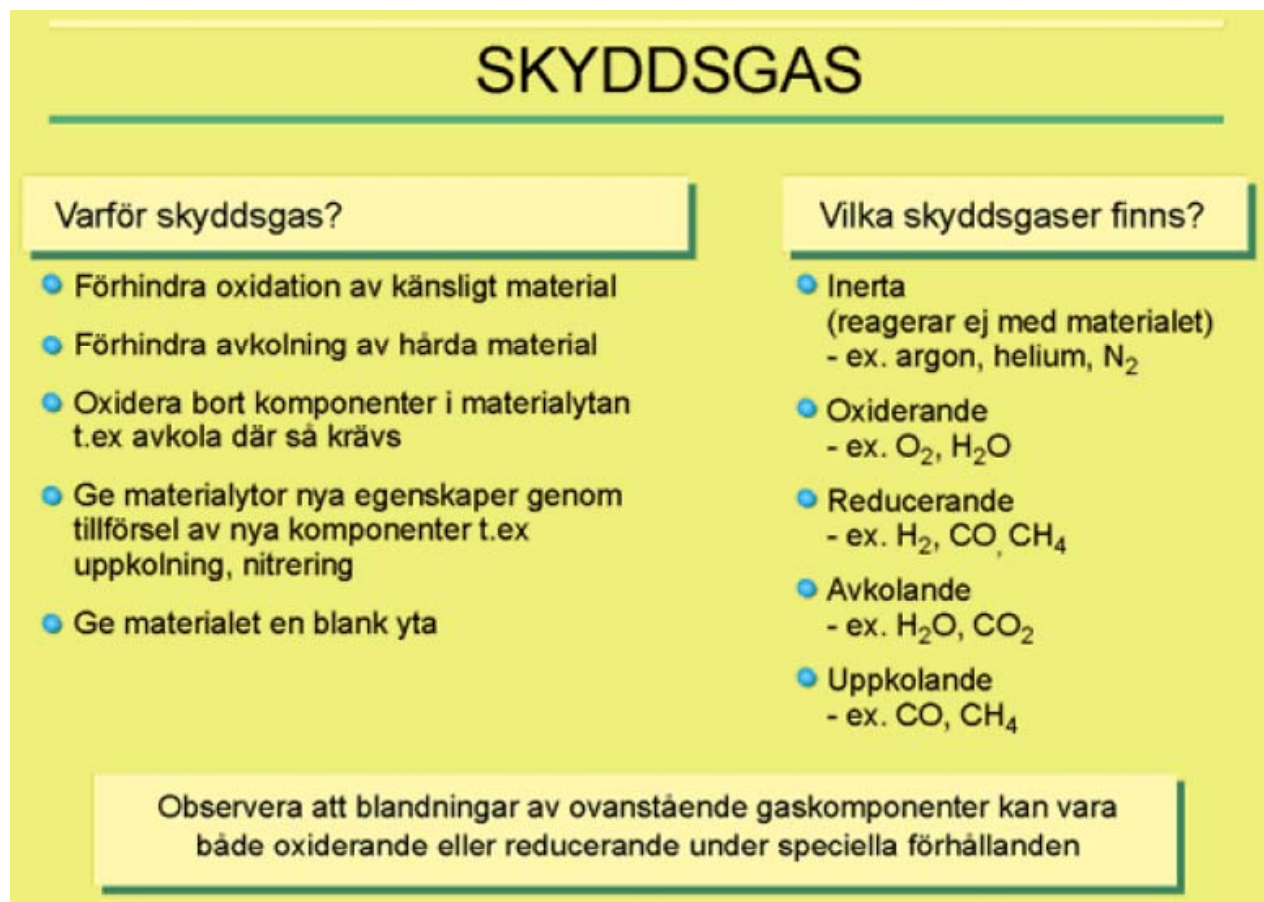
7.7 Skyddsgas

Vid värmning påverkas materialet av den omgivande ugnsatmosfären. Denna påverkan kan styras genom att ändra ugnsatmosfärens sammansättning. Man använder då s k skyddsgas som

leds in i ugnsrummet. Skyddsgasen skyddar materialet mot t ex avkolning eller avbränna. Ibland används även speciella skyddsgassammansättningar för att ge material särskilda ytegenskaper. Man kan till exempel höja ytans hårdhet.

Skyddsgasatmosfär, som också kallas kontrollerad atmosfär, kan indelas i följande huvudgrupper:

- Inert eller neutral atmosfär – reagerar ej med chargen eller legeringsämnen i denna.
- Oxiderande atmosfär – verkar oxiderande på metallen och ger glödskal.
- Reducerande atmosfär – metalloxid reduceras till metall.
- Metallurgiskt aktiv atmosfär – tillför eller avlägsnar någon legeringskomponent på metallytan (vanligen kol).



Figur 7-7:8

Det finns alltså flera olika typer av ugnsatmosfärer och deras sammansättning kan variera inom mycket vida gränser beroende på hur de har framställts. Vanliga råvaror för framställningen är gasol, naturgas och ammoniak, men även inerta gaser (gaser som ej reagerar) som helium, kvävgas, argon m fl används ibland.

De ugnar, i vilka skyddsgas används, är utförda på ett särskilt sätt för att skyddsgasen ej skall förstöras av till exempel avgaserna från brännarna. Man använder härvid ofta sk strålningsbrännare, vilket innebär att bränslet (oftast gasol) bränns i ett rör inuti ugnsrummet. Rörets väggar upphettas då så att de glöder, och strålningsenergi överförs till materialet som värms. Avgaserna leds aldrig in i ugnsrummet, utan de får lämna förbränningsröret genom ett separat avgasrör.

En ugn med strålningsbrännare kan innehålla flera hundra brännare och får härigenom ett stort antal avgasrör, som leds samman till en stor avgaskanal ofta belägen ovanför ugnen. Avgaserna

från varje brännare får i regel via en enkel rekuperator (luftförvärmare) förvärma förbränningsluften till brännaren ifråga. Strålningsrören kan också vara elvärmda, vilket medför att avgaser saknas.

Ett annat sätt att bibehålla skyddsgasatmosfären opåverkad är att använda en sk mufflad ugn. Denna är uppbyggd med ett inre ugnsrör genom vilket materialet passerar. Utanför röret ("muffeln") finns brännarna eller elementen.

Även klockugnar med dubbla klockor kan användas. Skyddsgasen cirkuleras i den inre klockan.

Skyddsgasugnar är oftast elvärmda, eftersom de är lättare att hålla täta mot inläckning och utläckning och ej avger avgaser samt är lätta att reglera och har lågt ugnsslitage.

Det finns exotermiska och endotermiska processer för skyddsgasproduktion. I en exotermisk process genererar processen själv tillräckligt med värme för att hålla processen i gång. I den endotermiska processen däremot krävs det extern energitillförsel till reaktionskammaren för att processen skall fungera.

8 Materialplanering och energistatistik

8.1 Övergripande materialplanering

Vid all produktion måste en övergripande planering göras för att hålla ned kostnaderna. Detta gäller även materialplaneringen på ugnssidan.

Produktionen måste planeras så att:

- postföljden är sådan att minsta möjliga omställning måste göras i valsverket vid övergång till nästa post. Småposter av liknande material med liknande värmning samlas till större "poster".
- postföljden är sådan att minsta möjliga temperaturomställning måste göras inför nästföljande post (jämför föregående punkt)
- ugnens kapacitet utnyttjas fullt ut så länge det är möjligt. Om ugnen produktionskapacitet är väsentligt större än aktuell produktionstakt är det ur energisynpunkt ofta bättre att dra ned, eller stänga av, ugnen några dagar och sedan köra "för fullt" någon dag än att köra med mycket låg produktionstakt under alla dagar.
- ugnens hård utnyttjas effektivt, t ex genom att lägga in flera rader ämnen i stället för en rad om ämnena är korta, om detta är möjligt.
- materialet kommer till ugnen strax innan det skall matas in. Stora materialmängder, som ligger och väntar, innebär stort bundet kapital samt långsamt materialflöde genom verket.
- materialet är kontrollerat beträffande sprickor och andra defekter samt åtgärdat i förekommande fall. Materialet måste märkas ordentligt så att misstag ej uppstår (t ex sammanblandning av poster).
- all nödvändig information har delgivits ugnspersonalen, som t ex hur stor posten är, vilken materialkvalitet den består av, till vilken temperatur den skall värmas, vilka dimensioner den har och om restriktioner beträffande värmningstiderna gäller (materialet kan vara känsligt för avkolning eller för snabb påvärmning).

Med varje post följer ett materialblad (kan finnas i en dator) där alla data gällande aktuella processteg och åtgärder är införda. Ansvarig personal för in data allteftersom de olika processstegen genomförs och noterar även de avvikelser som eventuellt uppstår.

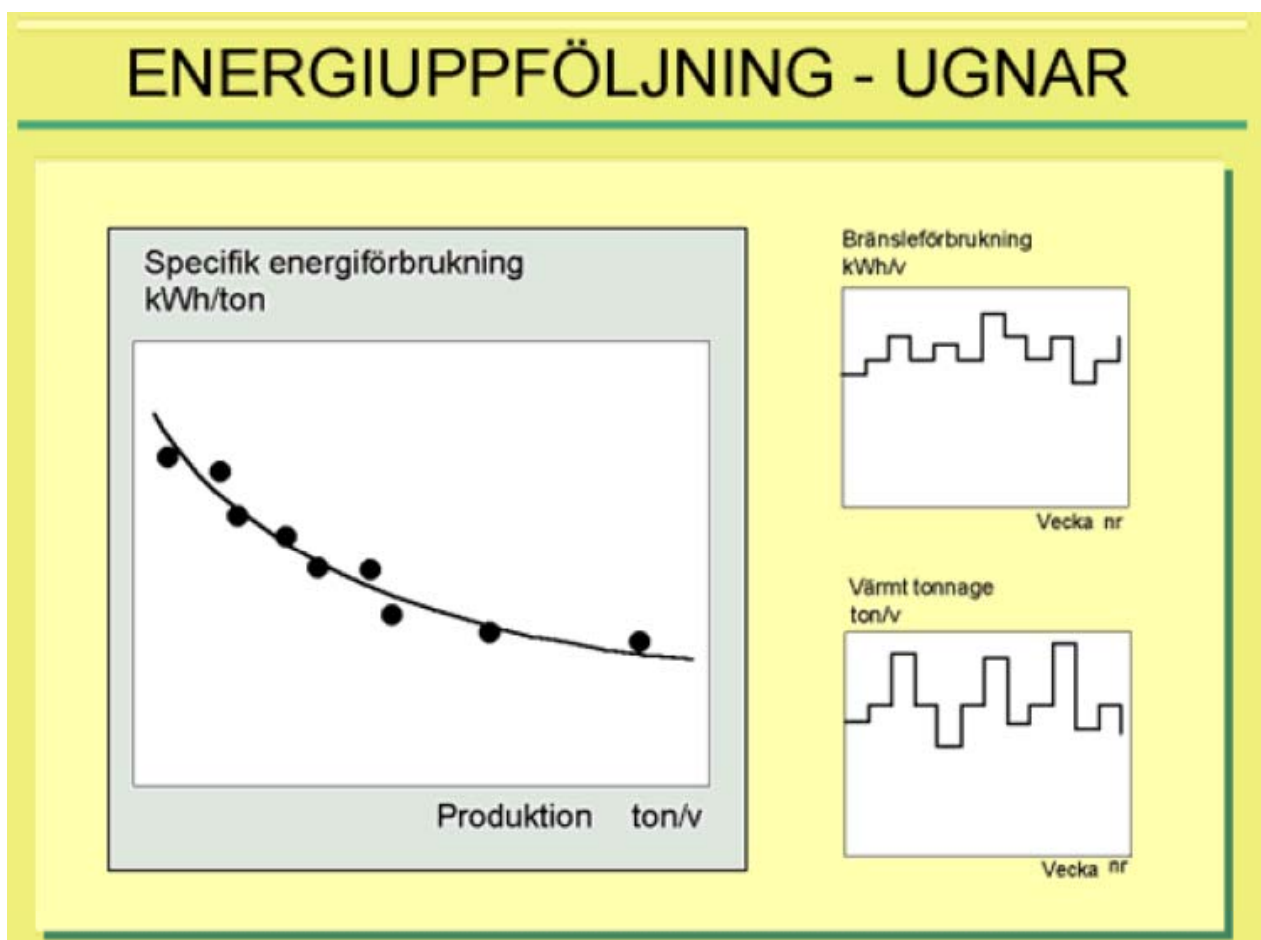
8.2 Energistatistik för ugnar

Slitage på luckor och luckramar, brännare, spjäll, isolering mm liksom eventuella fel i givare och regler-system gör att energiförbrukningen successivt ökar med tiden. Med hjälp av energistatistik kan man övervaka energiförbrukningen i en ugn och snabbt upptäcka den ökande energiförbrukningen.

En effektiv energiuppföljning måste vara lätt att ta fram och lätt att läsa och därför bör:

- Energimätaren läsas av varje vecka, vid samma veckodag och klockslag, och energiförbrukningen under veckan räknas fram. (Alternativt kan uppföljning göras varje skift.)
- Statistiken redovisas i diagramform. Tabeller är svårlästa och bör endast användas som underlagsmaterial.
- Energiförbrukningen ritas upp som funktion av den allra viktigaste parametern som påverkar energiförbrukningen. Denna parameter är produktionen, i ton, under veckan.

Ett exempel på lämpligt diagram för veckovis uppföljning visas i vidstående figur. De data som behövs är produktionen under veckan (ton/v) och energiförbrukningen under veckan. Med ledning av dessa två uppgifter kan den specifika energiförbrukningen, i kWh/ton, räknas fram. I diagrammet i figuren markeras veckans punkt med hjälp av värdena för ton/v och kWh/ton.



Figur 7-7:9

När många punkter markerats kan man se att punkterna samlas kring en linje som har ungefär den kurvform som finns i figuren. Ju mindre tonnage som värms i ugnen desto högre blir alltså

den specifika energiförbrukningen, i kWh/ton. Om nya punkter som ritas in tenderar att alltid ligga ovanför linjen har ugnen försämrats. Viss variation mellan olika veckor finns alltid.

Några andra viktiga parametrar, förutom tonnage som värms, som påverkar ugnens energiförbrukning är bemannad tid (dvs den tid när produktionen löpt utan driftavbrott), materialkvalitet (värmning av t ex rostfritt material kräver mer energi), andel varm insats (som sänker energiförbrukningen), ämnesdimensioner (tunna ämnen är lättare att värma än tjocka), skiftgång (påeldningar kostar energi) m fl parametrar.

Det är mycket vanligt att den specifika energiförbrukningen, i kWh/ton, redovisas per vecka, dvs som funktion av veckonumret i stället som funktion av produktionen per vecka. Detta är ingen bra redovisning för att följa ugnens energimässiga funktion. Veckonumret har ingen betydelse för ugnens energiförbrukning, utan det är produktionens storlek som har betydelse.

Diagram som, vecka för vecka visar den totala energiförbrukningen i ugnen och det värmda tonnage tas också fram. Dessa diagram ger kompletterande information och kan bl a användas för att se trender under året.

Observera att energidata, som t ex oljeförbrukningen i liter/ton för en ugn, inte utan vidare kan användas för att jämföra hur effektiva olika ugnar är utan endast lämpar sig för jämförelser på samma ugn vid olika tidsperioder. Det beror på att olika ugnar arbetar med helt olika förutsättningar.

Samma svårighet gäller jämförelser av bränsleförbrukning i bilar. Det är ju inte meningsfullt att jämföra förbrukningen hos en liten "shoppingbil", som kanske drar 0,5 liter/mil, med en husbil som drar 2 liter/mil. Eftersom det handlar om två helt skilda arbetsuppgifter kan man inte säga att "shoppingbilen" är effektivast bara för att den drar mindre bränsle per mil.

8.3 Energistatistik för pannor

Energistatistik bör användas även på pannor för att följa upp hur väl de fungerar.

Uppföljningen bör uppfylla samma krav som på ugnssidan, dvs att energimätare läses av vid samma tidpunkt varje vecka, att statistiken redovisas i diagramform och att energiförbrukningen ritas upp som funktion av de viktigaste parametrarna.

Pannan effektivitet kan anges med verkningsgraden, dvs hur stor del av energin i det tillförda bränslet som omvandlas till hetvatten eller ånga ut från pannan.

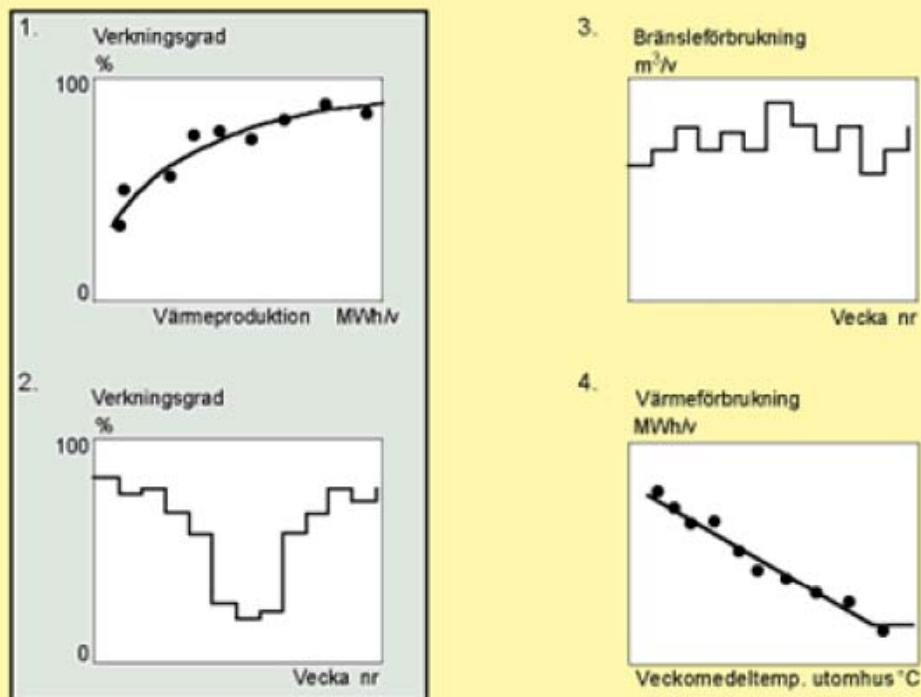
Verkningsgraden beror till stor del på hur pannan används. Om den körs med hög belastning, är verkningsgraden avsevärt högre än om den körs på låg belastning. Genom att utgå från veckodata för bränsleförbrukningen och den producerade nyttiga värmen i hetvatten eller ånga kan verkningsgraden räknas fram.

I diagram (1) i figur 7-7:10 sätts en punkt, där linjer för värdena för verkningsgraden och värmeproduktionen möts. Genom punkterna kan efter ett antal veckor en linje för normal verkningsgrad ritas in. Avvikelse från denna normallinje upptäcks direkt, när nya punkter ritas in.

En annan intressant kurva visar verkningsgraden som funktion av veckonumret. Med denna kurva framgår ofta tydligt hur verkningsgraden för pannor minskar avsevärt under sommaren. Varför gör den det?

Även den totala bränsleförbrukningen, vecka för vecka, brukar följas upp.

ENERGIUPPFÖLJNING - PANNOR



Figur 7-7:10

Värmeförbrukningen ute i verket sammansätts av två delar. Den ena delen är värme, som förbrukas för att värma lokaler och ventilationsluft. Denna värmeförbrukning varierar med utomhustemperaturen. Ju kallare det är, desto högre är värmeförbrukningen.

Den andra delen är värme, som förbrukas i processer som t ex betbad. Här har inte utomhustemperaturen någon betydelse, utan det är produktionens storlek, som ofta är ungefär konstant, som bestämmer värmeförbrukningen.

Genom att rita upp den totala värmeförbrukningen i nätet, mätt som värme ut från pannan, som funktion av veckomedeltemperaturen utomhus, erhålls en kurva som i diagram 4. Med denna uppföljning kan lätt upptäckas, om något ovanligt sker ute i nätet. Exempelvis märks slöseri med värme, genom att punkterna hamnar ovanför den heldragna "normal-linjen" och effektivare användning av värme genom att punkterna hamnar under linjen.

Källor

Del	Titel	Författat av	Revidering av
1	Historia, grundläggande metallurgi...	Jan Ugglå	Sven Ekerot (2000) Robert Vikman, Jernkontorets TO 21, 23 och 24 (2016)
2	Malmbaserad processmetallurgi.....	Jan Ugglå	Sven Ekerot
3	Skrotbaserad processmetallurgi	Jan Ugglå	Henrik Widmark
4	Skänkmållurgi och gjutning	Jan Ugglå	Sven Ekerot
5	Underhåll och driftsekonomi	Hans Gillberg och Niklas Brodd, ABB	
6	Analytisk kemi	Carl Bavrell	
7	Energi och ugnsteknik.....	Jan Fors och Martti Köhli	
8	Bearbetning av långa produkter	Magnus Jarl, Håkan Lundbäck, Jan-Olov Perå och Åke Sjöström	Rachel Pettersson, Jernkontorets TO 32
9	Bearbetning av platta produkter	Nils-Göran Jonsson, Jan Levén Åke Sjöström och Olof Wiklund	Rachel Pettersson, Jernkontorets TO 31
10	Oförstörande provning	Jan-Erik Bohman, Bernt Hedlund, Bengt Moberg, Bert Pettersson och Björn Zetterberg	Författarna
11	Olegerade och låglegerade stål.....	Bengt Lilljekvist	
12	Rostfritt stål.....	Staffan Hertzman och Hans Nordberg	Rachel Pettersson, Jernkontorets TO 43

Del 5 bygger på ABB Handbok Industri och har sammanställt av Hans Gillberg och Niklas Brodd.

Bilderna i den första utgåvan av delarna 1–4 producerades av Jenö Debröczy.
Några av dessa bilder återfinns i den omarbetade utgåvan.

Bilderna i den första utgåvan av delarna 6–12 producerades av Databild AB.

Bilderna i den reviderade utgåvan av delarna 8, 9 och 12 har omarbetats av Rachel Pettersson.

DEN SVENSKA STÅLINDUSTRINS BRANSCHORGANISATION

Jernkontoret grundades 1747 och ägs sedan dess av de svenska stålföretagen. Jernkontoret företräder stålindustrin i frågor som berör handelspolitik, forskning och utbildning, standardisering, energi och miljö samt transportfrågor. Jernkontoret leder den gemensamma nordiska stålforskningen. Dessutom utarbetar Jernkontoret branschstatistik och bedriver bergshistorisk forskning.

JERNKONTORET

Box 1721, 111 87 Stockholm · Kungsträdgårdsgatan 10
Telefon 08-679 17 00 · Fax 08-611 20 89
E-post office@jernkontoret.se · www.jernkontoret.se

