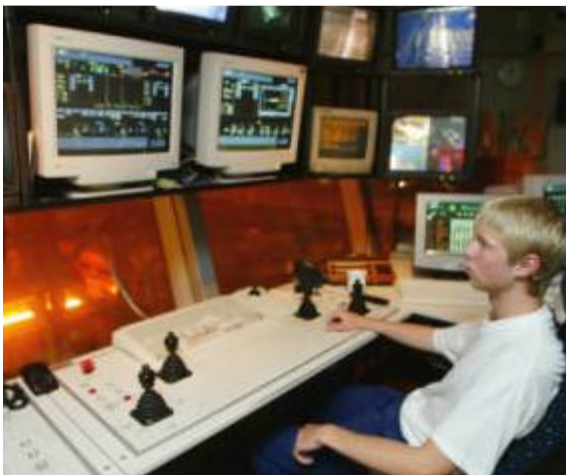


Statsstödd gemensam forskning inom Sveriges stålindustri

Satsningar och resultat

av professor e.m. John Olof Edström, KTH



Utredning genomförd på uppdrag av Jernkontoret
Stockholm, juni 2003

Statsstödd gemensam forskning inom Sveriges stålindustri – satsningar och resultat

av professor em. John Olof Edström, KTH

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	Sida
Sammanfattning	2
1. Inledning	3
2. Allmänt om svensk stålindustri och dess forskning	3
3. Framställningsvägar för stål och energianvändning i olika tillverkningssteg	5
4. Ekonomiska satsningar i gemensam statsstödd forskning 1983–1992	9
5. Energibesparingar 1988–1997 som följd av forskningsinsatser	11
6. Minskning av koldioxidutsläpp som följd av forskningsinsatser	15
7. Resultatförbättringar inom Sveriges stålindustri under tiden 1988–1997 som följd av statsstödd gemensam forskning	17
8. Bilagor 1–11	19
9. Erkännande	33
10. Referenser	34

Omslagsbild

**Pellets, LKAB
Bredbandvalsning, SSAB**

**Masugn, SSAB
Sömlösa rostfria rör, Sandvik**

Sammanfattning

En genomgång av resultaten av den statsstödda, gemensamma forskningsverksamheten inom Sveriges stålindustri under 10-årsperioden 1988–1997 visar på god lönsamhet för gjorda satsningar. De totala FoU-satsningarna betalade sig 5 gånger och den statliga delen hade en hävstångsverkan på 11 gånger.

Stålindustrin är en av Sveriges viktigaste näringsgrenar. Den är av tradition starkt export- och forskningsinriktad. Satsningar på forskning utgjorde år 2001 2,2% av omsättningen att jämföra med 1% inom EU, 0,5% i USA och 1,8% i Japan. Den stora produktionsandelen specialstål är också karakteristisk för svensk stålindustri. Den ligger på ca 75% av omsättningen.

År 1999 gjordes en detaljerad genomgång av den energirelaterade statsstödda gemensamma forskningsverksamheten inom Sveriges stålindustri. Här har gjorts en liknande granskning. Nu har emellertid genomgåts *hela* den statsstödda gemensamma forsknings- och utvecklingsverksamheten som Sveriges stålindustri låtit utföra genom Jernkontoret, vid högskolor, vid branschforskningsinstitut och inom företagens egna forskningsorganisationer. Satsningarna ställs i relation till de ekonomiska resultaten.

Som tidsperiod för *ekonomiska satsningar* har i denna utredning liksom vid energiutredningen valts perioden 1983–1992 och som resultatperiod 1988–1997, då satsningarna förväntas ha givit resultat. Kostnaderna för den gemensamma forskningen 1983–1992 uppgick till 600 MSEK, varav 49% eller 294 MSEK statliga medel. Diskonterat 5 år framåt i tiden – den antagna tidsskillnaden mellan satsning och resultat – motsvaras detta av 768 MSEK respektive 376 MSEK vid 5% räntefot.

Enligt en EU-utredning från 1994 kan normalt 15–40% av resultatförbättringar inom stålindustrin beräknas vara orsakade av forsknings- och utvecklingsinsatser. I föreliggande utredning antas forskningsprojekten kunna tillskrivas 15% eller 30% av uppnådd total resultatförbättring. Andelen beroende på hur direkt projekten medverkat till resultaten.

Under perioden 1988–1997 beräknas resultatet för stålindustrin ha förbättrats med 4.065 MSEK genom gemensamma forsknings- och utvecklingsinsatser inom ett antal här utvalda projektområden och med ovannämnda antaganden om ”FoU-andelar” i resultaten. De största besparingarna gjordes inom råjärnstillverkningen. Men även insatserna inom slaggrening, stränggjutning, ämnesvärmning och produktutveckling gav mycket goda resultat. Den forskningsrelaterade resultatförbättringen utgjorde 5 gånger satsningen med diskontering för den femåriga tidsskillnaden mellan satsning och resultat. De statliga satsningarna fick en ”hävstångsverkan” på 11 gånger.

Några resultat från 1999 års energiutredning skall särskilt anges. År 1997 användes för framställning av stålprodukter 2,8 TWh (13%) mindre energi än om energiåtgångstalen ej förbättrats från 1987. *Energianvändningen* under perioden 1988–1997 var 16,2 TWh lägre än om 1987 års energiåtgångstal för de olika tillverkningsstegen fortfarande gällt. Besparingen var värd 2.200 MSEK, varav 30% eller 660 MSEK ansågs vara resultat av forskningsinsatserna om 346 MSEK.

Koldioxidutsläppen från stålindustrins anläggningar var 860 kg per ton stålprodukter år 1997 eller totalt 4.100 kton. Om energiåtgångstalen ej förbättrats från 1987 års läge hade utsläppen varit 23% högre.

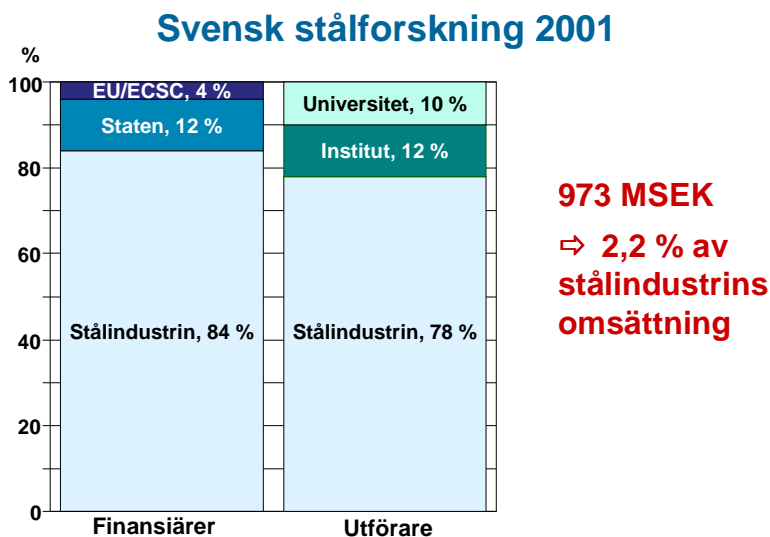
1. Inledning

År 1999 gjordes på uppdrag av Jernkontoret en utredning om den statsstödda, gemensamma energirelaterade forskningen inom Sveriges stålindustri. Denna benämnes här Energiutredningen. Föreliggande utredning behandlar *hela* den statsstödda, gemensamma forskningsverksamheten som bedrivs i Jernkontorets regi. Vid energiutredningen valdes som tidsperiod för ekonomiska satsningar 1983–1992 och som resultatperiod 1988–1997 då satsningarna beräknades ha givit ”återbäring”. För satsningar och resultat har här valts samma tidsperioder som vid energiutredningen. Allmänna data från stålindustrin har dock uppdaterats till 2001–2002.

2. Allmänt om Sveriges stålindustri och dess forskning

Stålindustrin är en av Sveriges viktigaste näringsgrenar. År 2002 producerades 5,75 miljoner ton råstål, varav tillverkades 4,90 miljoner ton stålprodukter, 4,20 miljoner ton (86%) exporterades. Därtill exporterades 0,3 miljoner ton ämnen. Totala tillverkningsvärdet var ca 45 miljarder SEK, värdet av exporten var 36 miljarder och överskred värdet av importen med 16 miljarder SEK. Stålet svarade för cirka 11% av landets handelsöverskott. Stålindustrin är därmed en av Sveriges ledande exportnäringsgrenar. Av tillverkningsindustrins omsättning svarade egentliga stålindustrin för 5% och sysselsatte i Sverige 18.830 personer år 2002. Försäljningen per anställd och år var 2,2 MSEK (2, 3, 4). Hela malm- och metallsektorn svarade för 5% av Sveriges BNP och sysselsatte, inklusive underleverantörer, 125.000 personer. Nettoexporten var 60 miljarder SEK år 2001 (11).

Stålets exportframgångar byggde tidigare på tillgång till rena malmråvaror, jämförelsevis billigt träkol och lättillgänglig vattenkraft förutom stort yrkeskunnande. Sedan övriga fördelar mer och mer bortfallit har kunnandet alltmer kommit i förgrunden. Träkol är borta sedan lång tid och fördelen av billig elenergi håller på att frånhandas landet. Kvar som naturresursfördel finns endast en betydande tillgång av järnmalm som kan förädlas till hög renhet. Stålföretagens produkt- och processutveckling har blivit en alltmer viktig verksamhet. Svensk stålindustri har utvecklats till en mycket avancerad tillverkningsindustri med hög grad av specialisering och räknas som världens mest forskningsintensiva.



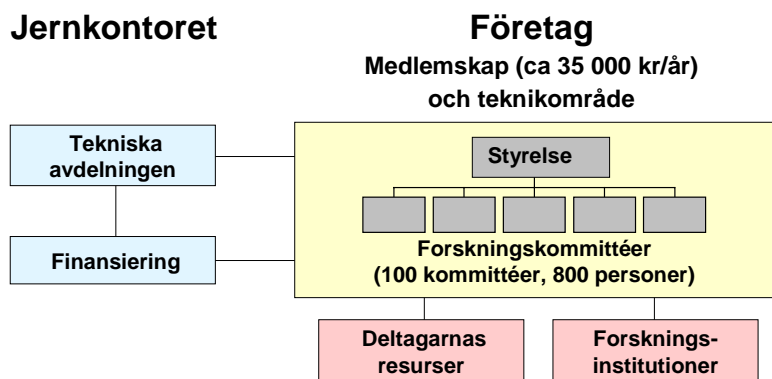
Figur 1. Finansiärer och utförare av den svenska stålforskningen år 2001 (10).

Karakteristiskt för svensk stålindustri är den höga andelen legerat stål ("specialstål"). År 2002 utgjorde legerade stål 50% av tillverkat tonnage att jämföra med 15% i övriga EU, 10% i Japan och 9% i USA. Priserna på specialstål ligger 5–10 gånger högre än på vanligt handelsstål, vilket gör att värdet av den svenska specialstålsproduktionen ligger på 75% av landets totala stålproduktion. Av världsproduktionen utgör specialstålet annars endast 12% (11).

År 2001 satsades 973 MSEK på FoU inom svensk stålindustri (10), vilket var 2,2% av omsättningen (figur 1). Detta kan jämföras med 1% inom EU, 0,5% i USA och 1,8% i Japan (11). Finansiärer var till 86% stålföretagen, till 10% svenska staten och till 4% EU/Kol- och stålunionen. Det bör påpekas att Sandvik-koncernen ensamt satsade hela 1.600 MSEK på FoU och att i detta ingår endast andelen för stål i nämnda 973 MSEK. Utförare av forskningen var företagen (78%), universitet och högskolor (10%) samt forskningsinstitut (12%). Forskningsinstitut speciellt knutna till stålindustrin är MEFOS (Stiftelsen för metallurgisk forskning, Luleå) och IM (Institutet för Metallforskning, Stockholm).

Organisationen av Jernkontorets gemensamma forskning framgår av figur 2 (10). I forskningen deltar även Finland och Norge. Verksamheten är uppdelad på 12 teknikområden inom vilka ett antal forskningskommittéer arbetar. Kostnaden för Jernkontorets gemensamma stålforskning var år 2001 90 MSEK, för MEFOS 87 MSEK och för IM 54 MSEK. Totalt omsatte dessa utförare av stålforskning 331 MSEK år 2001. Figur 3 ger en geografisk översikt av svensk stålindustri och dess forskningsinstitut (10).

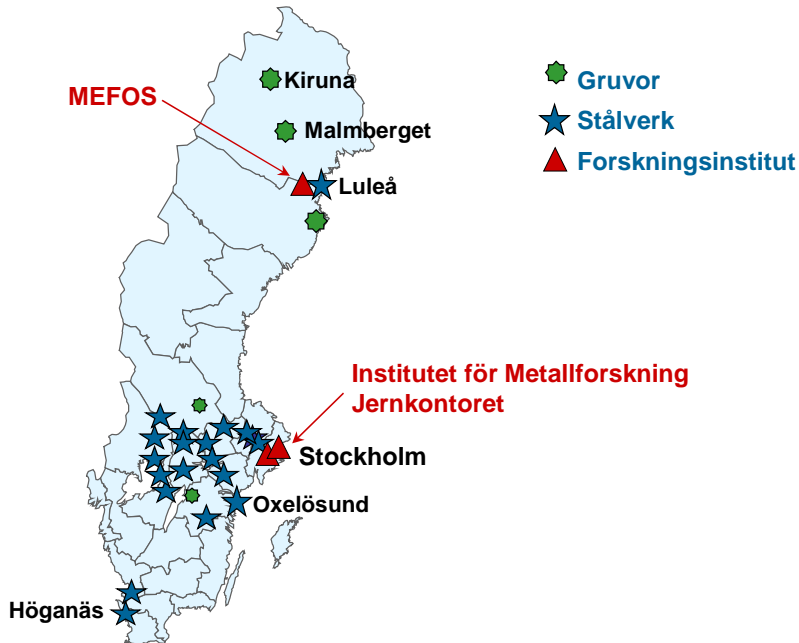
Organisation av Jernkontorets gemensamma stålforskning



Figur 2. Organisation av Jernkontorets gemensamma stålforskning.

3. Framställningsvägar för stål och energianvändning i olika tillverkningssteg

De forskningsprojekt, vars resultat här ekonomiskt bedöms, griper in på många ställen i de långa och tämligen komplexa processkedjorna för framställning av stål. Här skall därför göras en kort beskrivning av ståltillverkningen för att ge en allmän bakgrund till den följande diskussionen av forskningsverksamheten. Energianvändningsdata från utredningen 1999 har medtagits. Energikostnaden är en viktig post för stålindustrin.



Figur 3. Geografisk översikt av svensk stålindustri och dess forskningsinstitut (10).

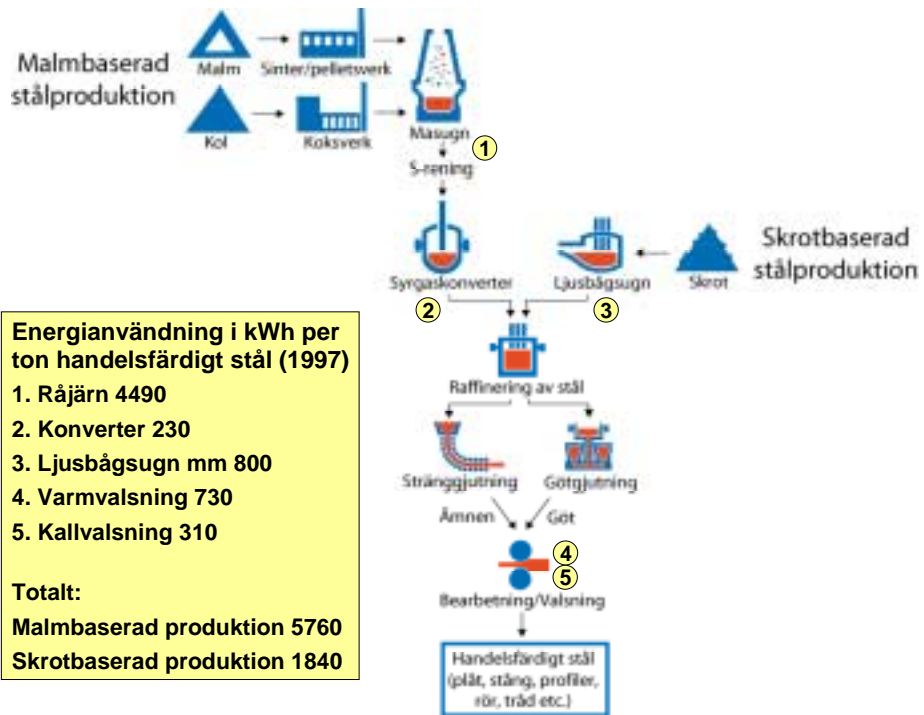
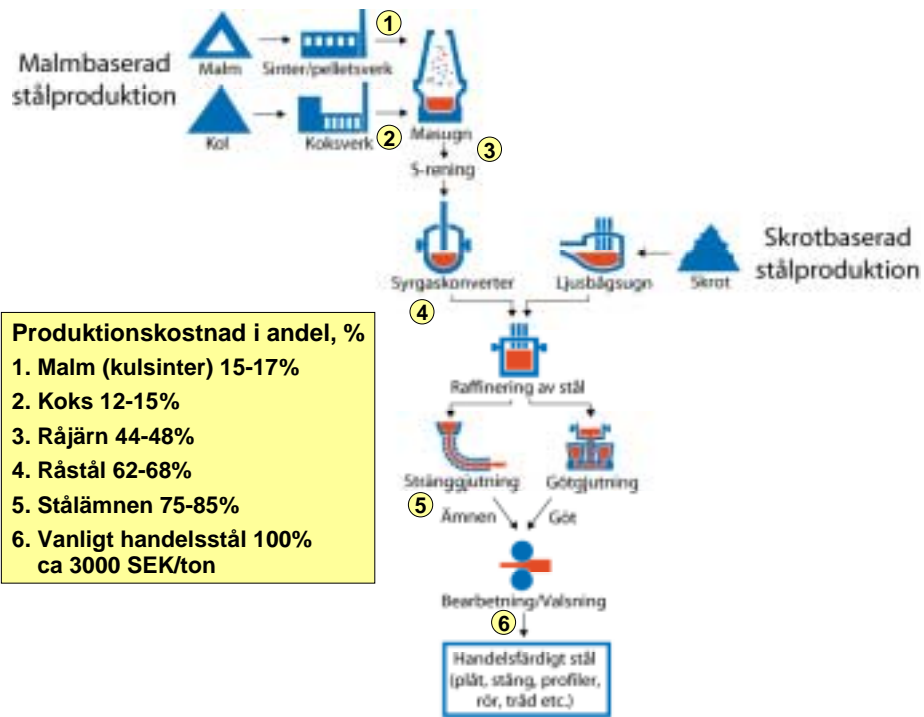
Anläggningar för framställning av stål kan uppdelas i tre huvudtyper:

- Malm- och kolbaserade järnverk med masugnar och syrgasstålverk (masugnslinjen).
- Skrotbaserade elektrostålverk (elektrostållinjen).
- Direktreduktionsugnar (järnsvampugnar) med elektrostålverk (järnsvamplinjen).

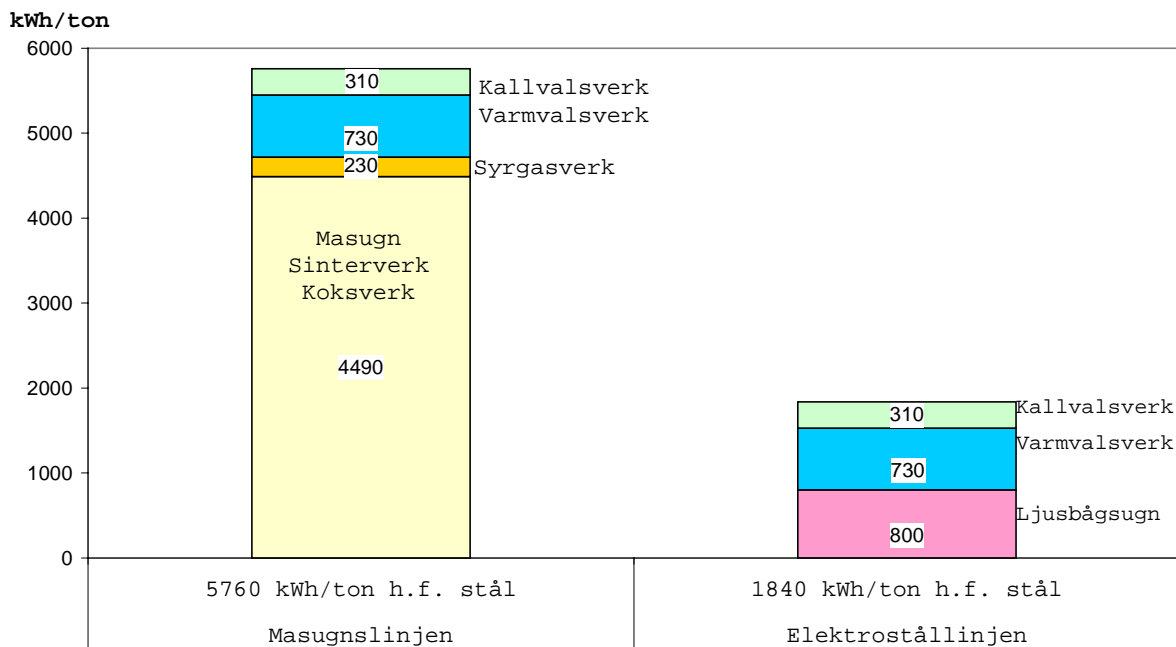
I Sverige användes för framställning av råstål de två första tillverkningslinjerna A och B. Direktreduktion används endast vid järnpulverframställning. Om billig naturgas funnits tillgänglig inom landet skulle sannolikt direktreduktion ha använts i betydande utsträckning.

Figur 4 visar delstegen vid stålframställning ur malm respektive ur skrot. Vid malm som utgångsmaterial är produktionskedjan lång och energikrävande. Utredning av järn ur malmoxyderna kräver stor energiinsats, teoretiskt 1.957 kWh/ton vid fast råjärn (järnsvamp) och 2.765 kWh/ton vid smält råjärn (tackjärn) som produkt. Ett av de lägsta värden som uppmätts för praktisk produktion av smält råjärn är 3.360 kWh/ton som uppnåddes en driftsperiod år 1999 vid Masugn 2 i SSAB Luleå. Enligt energiutredningen användes år 1997 för framställning av smält råjärn i Sverige 4.260 kWh per ton råjärn. Per ton råstål från konverterar användes 4.340 kWh/ton.

Från utgångsmaterialet skrot blir tillverkningsvägen betydligt kortare och mindre energikrävande. Här bortfaller stegen gruvbrytning, mineralberedning och råjärnsframställning. Råstålsframställningen i ljusbågsugn krävde 800 kWh/ton år 1997.



Figur 4. Schema över stålframställning ur malm resp. skrot. Kostnadsandelar för olika mellanprodukter anges liksom energianvändning i olika tillverkningssteg.



Figur 5. Jämförelse av tillverkningssteg och energianvändningar vid masugnslinjen och elektroställinjen. Produktionsförhållanden 1997. (h.f.=handelsfärdigt)

År 1997 användes för *hela* tillverkningskedjan från malmkoncentrat till handelsfärdiga produkter (varmvalsade och kallvalsade) 5.760 kWh/ton handelsfärdigt stål. Tillverkningskedjan skrotsmältning och valsning till färdiga produkter krävde endast 1.840 kWh per ton handelsfärdigt stål. I figur 5 görs en jämförelse av tillverkningssteg och energianvändningarna år 1997 vid de två ståltillverkningsvägar som tillämpas i Sverige.

Det tillverkades år 1997 3.160 kton (61,3%) stål enligt den energikrävande masugnslinjen (A) och 1.990 kton (38,7%) enligt elektroställinjen (B), totalt 5.150 kton råstål. År 2002 var motsvarande tonnage 3.813 kton (66,3%), resp. 1.941 kton (33,7%) eller totalt 5.754 kton. Specialstål, som i regel produceras enligt elektroställinjen, kräver betydligt större energiinsats än handelsstål producerat enligt denna linje. Större delen av handelsstålet produceras enligt masugnslinjen. Det finns två masugnsbaserade stålverk i landet med en masugn vid SSAB, Luleå, och två vid SSAB, Oxelösund. Landets elektroståltonnage, huvudsakligen specialstål, producerades år 2002 vid 8 stålverk.

Energianvändningen vid den svenska stålindustrin åren 1997 och 2001 framgår av **tabell 1**. Totalt åtgick år 1997 20,2 TWh (år 2001 21,9 TWh) för de 5,15 (5,52) miljoner ton råstål som producerades. Energianvändningen år 2001 hade varit 4% lägre, om andelen av det mindre energikrävande elektrostålet varit 1997 års (39%) istället för den verkliga (36%). Vid en summarisk bedömning döljer detta minskningen av energiåtgången som följd av effektivisering av processerna. Tendensen under senare år har varit mot lägre andel elektrostål på en begränsad skrottillgång och utbyggnad av masugnskapaciteten.

Totala kostnaden för de olika energislagen som användes var ca 3.040 år 2001 (3.670) MSEK, vilket utgjorde ca 8% (9%) av totala stålförsäljningsvärdet. Den största energiposten

var koks och injektionskol förbrukat i masugnarna. Koks och kol svarade för 56% (63%) av använd energi och 36% (42%) av totala energikostnaden. Av Sveriges totala energi-användning år 1997 om 396 TWh kom 5,1% på stålindustrin. År 2001 var respektive siffror 398 TWh och 5,5%.

Tabell 1

Svensk stålindustris energianvändning åren 1997 och 2001

	Mängd		TWh		MSEK	
	1997	2001	1997	2001	1997	2001
Koks och inj.kol	1,5 Mton *	1,8	11,8	13,9	1.083	1.460
Koksugns gas	490 Mm ³	450	2,5	2,2	322	361
Oljeprodukter (Eo 5)	0,14 Mm ³	0,14	1,5	1,5	256	892
Gasol	0,16 Mton	0,16	2,0	2,0	350	
El	4,2 TWh **	4,2	4,2	4,2	1.025	960
Totalt (netto)			***22,2	23,8	3.036	3.673

1997 USD 1 = SEK 8,0
2002 USD 1 = SEK 8,50

Produktion av råstål 1997 5.148 kton
och 2001 5.519 kton

*1997 Koks 1,3 Mton Inj.-kol 0,237 Mton
2001 Koks 1,3 Mton Inj.-kol 0,455

Energianvändning 1997 4.214 och 2001
4.041 kWh/ton

Energimedelpris 1997 136 SEK/MWh
och 2001 148 SEK/MWh

** Total elanvändning Sverige 1997 140 TWh
Total elanvändning i Sverige 2001 151 TWh

*** Total energianvändning i Sverige 1997 396 TWh
Total energianvändning i Sverige 2001 398 TWh

4. Ekonomiska satsningar

En genomgång har gjorts av de ekonomiska satsningar inom den forskning som görs för Sveriges stålindustri vid Jernkontoret, vid högskolor, vid försöksstationen MEFOS, vid Institutet för Metallforskning (IM) och vid företagen. Forskningen finansieras delvis med statliga bidrag. Satsningarna ställs i relation till de ekonomiska resultaten.

Som tidsperiod för de ekonomiska satsningarna har, som nämndes inledningsvis, valts tioårsperioden 1983–1992 och som ”återbäringstid” då utvecklingsinsatserna beräknats ha lett till resultat tioårsperioden 1988–1997. Då har omstruktureringen av stålindustrin och de stora investeringar som gjordes i början av 1980-talet redan givit utslag och en stor del av förbättringarna 1988–1997 bör kunna tillskrivas utvecklingsinsatserna. Under 1983–1992 skedde ej några stora strukturåtgärder eller utrustningsinvesteringar.

De statliga andelarna av kostnaderna vid de olika forskningsadministratörerna har varit:

Jernkontorets projekt och ramprogram	Energiteknikfonden	25%
	STU/NUTEK	40%
	Genomsnittligt	33%
	STEM	25%
MEFOS	Ramprogram	40%
	Separata projekt	40%
	(I en del fall upp till 84%)	
IM	Genomsnittligt	68%

Industrin bidrar till forskningen antingen med kontanter eller sk naturabidrag.

I **tabell 2** har sammanställts kostnader för forskningen inom ramprogram och projekt. Det bör anmärkas att MEFOS under försöksperioden var organiserad på två avdelningar, Metallurgisk Forskning (MF) och Bearbetningsteknisk Forskning (BTF). Kostnaderna har grupperats under rubrikerna Kontanter och Naturabidrag. Kontanterna går huvudsakligen till högskolor och institut. ”Naturabidragen” sammanfattar företagens kostnader för lokala forskningsinsatser, i första hand driftsförsök.

Tabell 2**Statsstödda gemensamma satsningar gällande stålforskning i Sverige 1983–1992 (MSEK)**

(Källor ref 1 och 5–9)

	Kontanter	Naturabidrag	Summa
Jernkontoret			
Projekt	76	50	126
Ramprogram och teknikområden	28	35	63
Summa Jernkontoret	104	85	189
MEFOS			
MF			
Ramprogram	70	35	105
Spec. finansiering	20	10	30
Summa MF	90	45	135
BTF			
Ramprogram	57	27	84
Spec. finansiering	38	14	52
Summa BTF	95	40	135
Summa MEFOS	185	86	270
Institutet för Metallforskning (IM)			
Ramprogram	109	0	109
Spec. finansiering	32	0	32
Summa IM	141	0	141
TOTALT	430	170	600
		(varav staten 294)	

Totala kostnaderna för stålindustrins statsstödda gemensamma forskning under åren 1983–1992 uppgick till 600 MSEK eller i medeltal 60 MSEK/år, varav 294 MSEK eller 49% statliga medel. Kontantinsatsen var 430 MSEK eller 72%. Jernkontorets forskningsverksamhet tog i anspråk 104 MSEK av de kontanta bidragen, MEFOS 185 MSEK och IM 141 MSEK. Naturabidragen” uppgick till 171 MSEK. Av de kontanta satsningarna bidrog staten med 68%. Satsningar gällande energirelaterad forskning var 270 MSEK, varav statliga medel 99 MSEK (1).

Bland forskningsprojekt som drivits kan särskilt nämnas:

- Användning av olivinpellets i masugnar (JK, LKAB, SSAB)
- Användning av sinter (optisinter) med hög järnhalt i masugnar (KTH, JK, SSAB)
- Kolinjektion i masugnar (KTH, SSAB, JK)
- Styrssystem för konvertrar (MF, KTH, ett antal stålverk)
- Styrssystem för ljusbågsugnar (MF, ett antal stålverk)
- Slaggrening av stål (MF, JK, KTH, ett antal stålverk)
- Kokillomröring vid stränggjutning (MF, ett antal stålföretag)

- Ytkonditionering av varma ämnen (BTF, Avesta)
- Styrssystem för värmugnar (BTF, ABB, m fl)
- Förbränning med syrgas – ”oxy-fuel” (JK, AGA-Linde Gas)
- Utveckling av duplexa, rostfria stål (Sandvik, Avesta, IM)
- Utveckling av höghållfasta stål (SSAB, IM)

Föreliggande utredning behandlar hela produktionskedjan. Dock ägnas de kostsamma energiintensiva produktionsstegen i början av tillverkningen speciell uppmärksamhet. De beskrivs ingående och separat i nästa avsnitt, som bygger på energiutredningen (1).

Arbets sättet har varit detsamma i de båda utredningarna. Vid årets utredning har dock statistiska uppgifter och forskningsrapporter kompletterats med intervjuer med ledande personal vid stålföretagen. För fjorton viktiga projekt eller arbetsområden har gjorts speciella utvärderingar. Dessa projekt har beskrivits i bilagorna 1–10.

5. Energibesparingar

Som underlag vid energiutredningen användes Årshäfte 1997 av Svensk Stålstatistik, utgiven av Järnverksföreningen (2) och Energistatistik från Jernkontorets tekniska avdelning åren 1998 och 2003. Som jämförelseår valdes 1987. För att illustrera effektivitetsförbättringar multiplicerades skillnader mellan energiåtgång vid 1987 års teknik och respektive års teknik för varje tillverkningssteg med stegets tonnage.

De tillverkningssteg som studerades i energiutredningen var:

- masugn
- sintring (upphörde juni 1995 och ersattes av köp av kulsinter)
- koksning
- tillverkning av råstål i konverter, inklusive gjutning av ämnen
- tillverkning av råstål i elektrougn, inklusive gjutning av ämnen
- varmvalsning

Ett viktigt nytt projekt inom energisektorn, som ej studerades i energiutredningen, är det s k oxy-fuel-projektet (bilaga 6), som gäller användning av syrgas vid förbränningsprocesser.

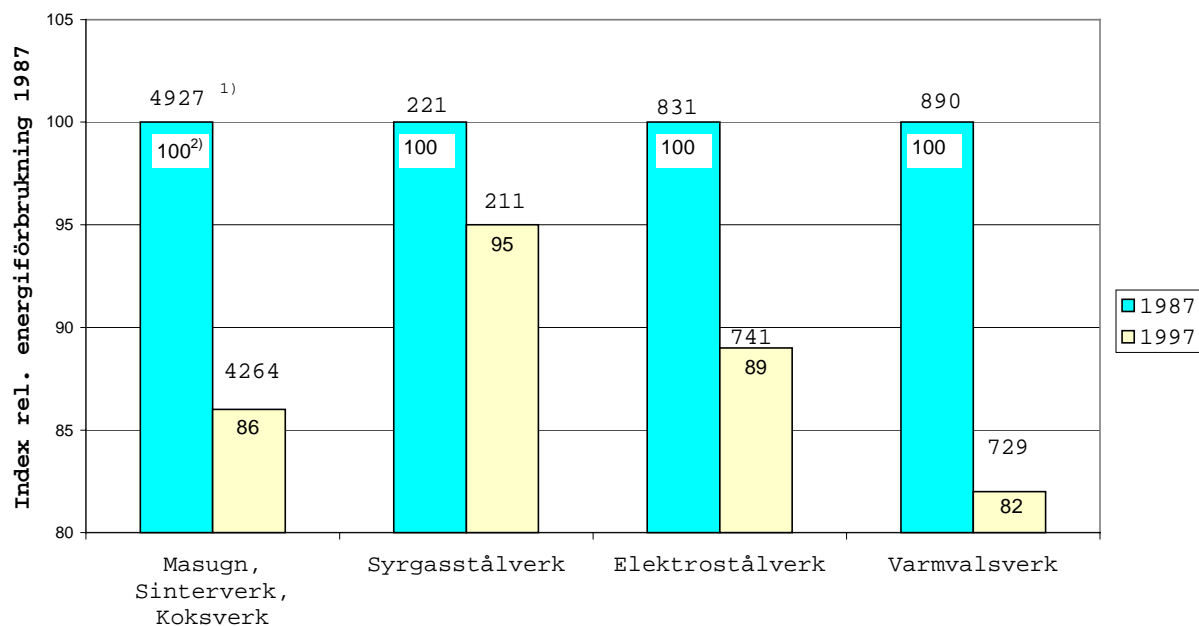
Den största energianvändningen sker i masugnar, därefter i koksverk och ljusbågsugnar, följt av varmvalsverk. **Tabell 3** anger energianvändningar i olika tillverkningssteg 1997 jämfört med 1987. Minskningarna av energianvändningen illustreras också i figur 6. Minskningen procentuellt sett var störst i varmvalsningssteget och utgjorde 18%, sedan kom masugnssteget med 14% och elektrostålugssteget med 11%.

Tabell 3

Energianvändningen i olika tillverkningssteg 1997 jämfört med 1987 (kWh/ton)

	1987	1997	Minskning
Masugn	4577	4279	298
Sinterverk *	186	68	118
Koksverk	1210	1253	- 43
Syrgasstålverk	221	211	10
Elektrostålverk	831	741	90
Varmvalsverk	890	729	161
Försäljning av energi	290	366	76

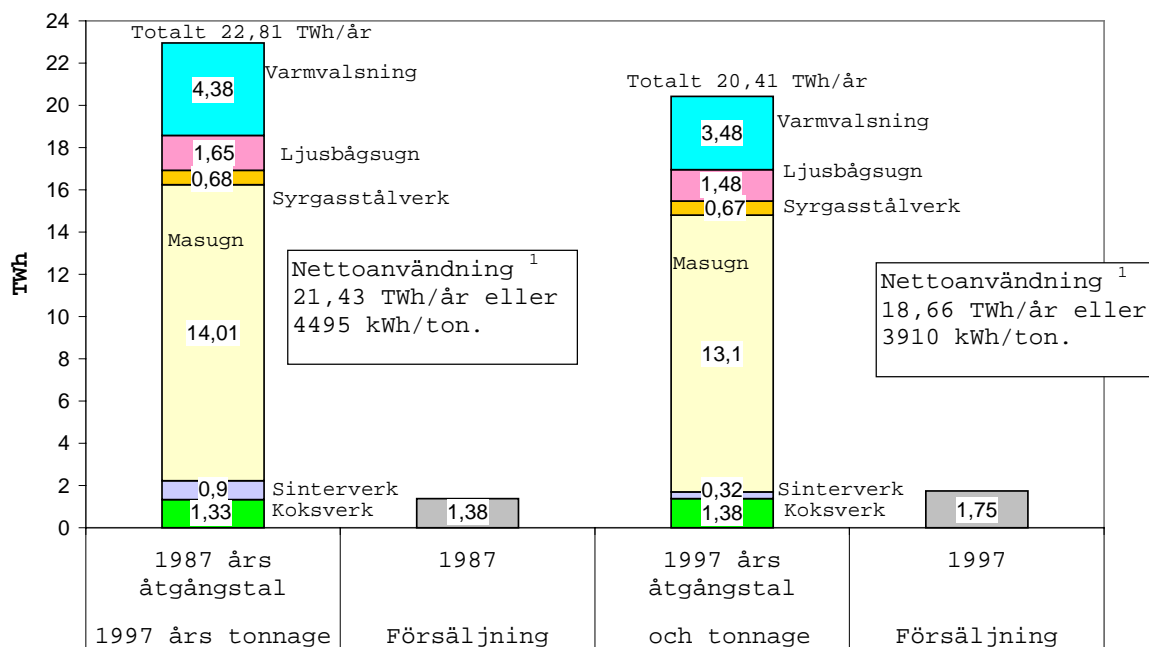
* 1987 29% sugsinter, 71% kulsinter
 1997 100% kulsinter



Figur 6. Jämförelse av energianvändning 1987 och 1997 vid svensk stålindustri. (Energiförsäljning inräknad.)

1) Specifik energiförbrukning i kWh/ton. 2) Specifik energiförbrukning, index

Multiplieras tonnaget för varje tillverkningssteg t o m varmvalsning med energiåtgångsskillnader angivna i **tabell 3** erhålls för 1997 en total energiåtgångsminskning om 2,77 TWh eller 581 kWh/ton. Ökad energiförsäljning till värmekraftverk har krediterats masugnsavsnittet. Skillnad i total energiåtgång vid tillverkning av 1997 års ståltonnage med 1987 respektive 1997 års teknik visas i **figur 7**. Förbättrad teknik har givit 13% lägre energianvändning.



Figur 7. Med 1987 års teknik skulle energianvändningen 1997 varit 2,8 TWh (581 kWh/ton) högre än erhållen. Detta gäller varmvalsade produkter. (4770 kton/år h.f.)
 1. Nettoanvändning = totalanvändning - försäljning

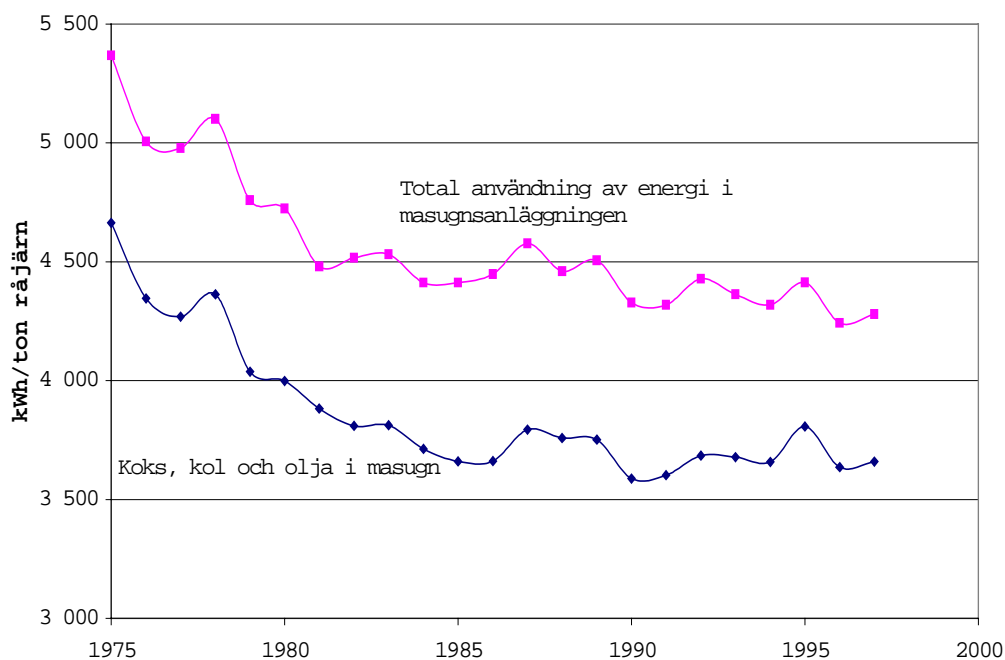
Besparingen av energi jämfört med 1987 ökar från 0,12 TWh år 1988 till 2,77 TWh per ton stålprodukter år 1997. Totalt sparades (jämför **tabell 4**) under tidsperioden 16,2 TWh. 1987 tillverkades 4.122 kton handelsfärdigt stål med en beräknad specifik energiåtgång på 4.230 kWh/ton t o m varmvalsning. Med 1997 års stora produktion av masugnsbaserat mer energikrävande konverterstål (1987 51% konverterstål och 1997 61% konverterstål) skulle energiåtgången 1987 varit ca 500 kWh/ton (ca 12% högre) eller 4.770 kWh/ton. År 1997 tillverkades 4.770 kton med energiåtgången 3.910 kWh/ton t o m varmvalsning.

Tabell 4

Minskning av energiåtgång i svensk stålindustri åren 1988–1997 till följd av teknikförbättring jämfört med 1987

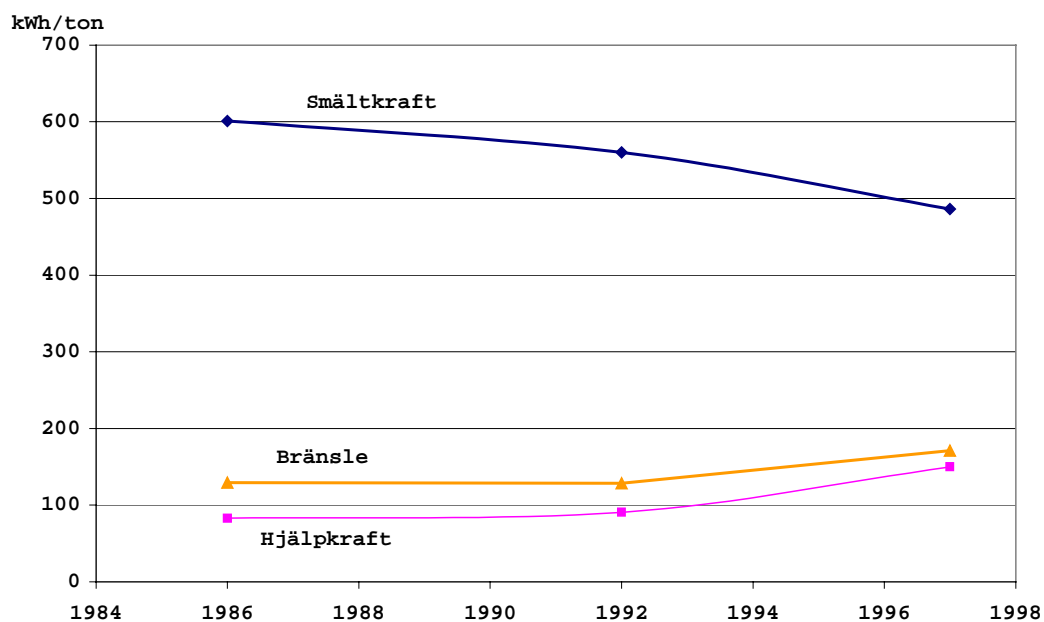
År	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Summa
Minskning TWh	-	0,12	0,70	1,55	1,91	1,48	1,51	1,54	1,72	2,86	2,77	16,2

Utvecklingen av energianvändningen i masugnar visas i **figur 8**. Den 6,5%-iga minskningen är en följd av flera åtgärder, men framför allt ökad järnhalt i beskickningen genom användning av sk olivinpellets och optisinter som medfört en halvering av slaggmängden i ugnarna (jämför **bilaga 1**).



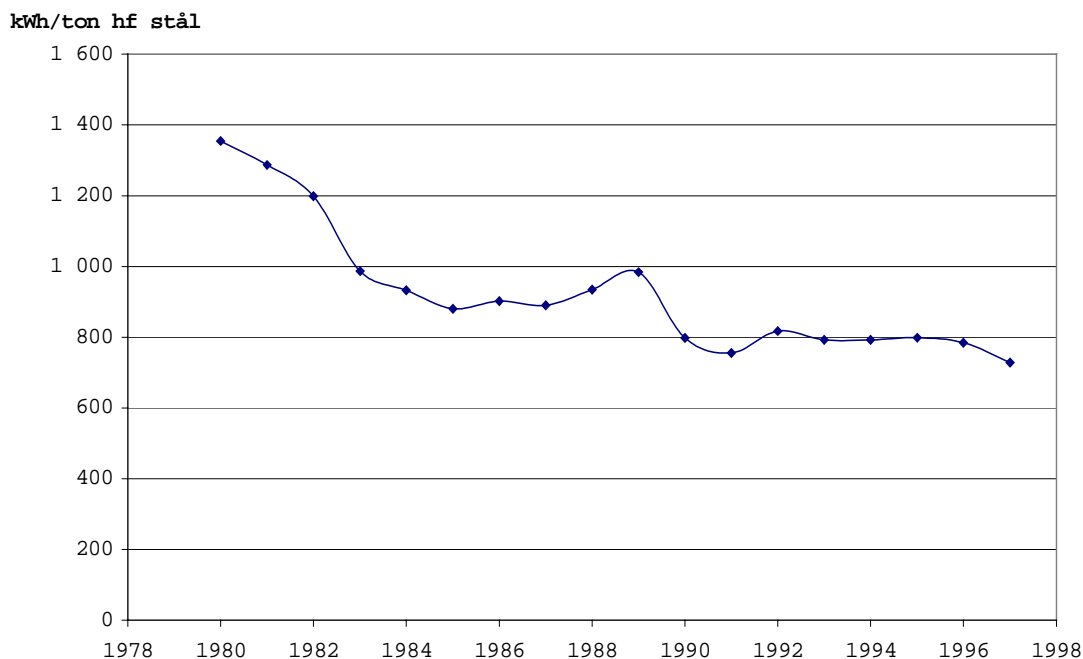
Figur 8. Användning av energi och processkol i masugnsverk

Vid elektrostålugnar har användning av smältenergin minskats, så att ökad energianvändning för miljöåtgärder kunnat mer än kompenseras (figur 9).



Figur 9. Energianvändning vid elektrostålverk
Resultat av speciell uppföljning 1986, 1992 och 1997

Minskningen av energianvändningen i valsverken har, som framgår av **figur 10** varit betydande under tidsperioden från 890 till 730 kWh/ton, dvs 18%. En stor del av framstegen kan tillskrivas FOCS-projektet vid MEFOS (**bilaga 8**). FOCS-projektet har även rönt internationell uppmärksamhet. Det marknadsförs både i utlandet och i Sverige. Totalt har 50 installationer gjorts, varav de flesta utomlands.



Figur 10. Specifik energianvändning vid varmbearbetning.

6. Minskning av koldioxidutsläpp från stålindustrin

Koldioxidutsläppen från industrin har fått en allt större aktualitet under senare år. Här har gjorts en utredning om vilka sänkningar av utsläppen som erhållits genom de förbättringar som skett inom stålindustrin.

De två tillverkningslinjerna som tillämpas i Sverige, masugnslinjen och elektrostillinjen, kräver, som visades ovan, mycket olika energiinsatser.

Den största delen av den stora energiinsatsen vid masugnslinjen sker i form av koks och kol i masugnsavsnittet (78%). Kol och koks åtgår för agglomerering, koksning, reduktion av järnoxid till järn och smältning av järnet. Per kg förbränt C utvecklas 3,67 kg CO₂ och koldioxidgenereringen i detta avsnitt rör sig om 1.700 kg per ton råjärn.

För elektrostillinjen – med redan utreducerat järn (skrot) som råvara – sker energiinsatsen till övervägande del i form av elkraft (i Sverige vattenkraft eller kärnkraft). Koldioxidutsläppen härrör för denna tillverkningslinje till största delen från värmugnar vid varmvalsning. 150 kWh/ton av smältstegets totala 800 kWh/ton kommer dock från fossilt bränsle. Skulle elkraften genereras i koleldade kraftverk hade naturligtvis koldioxidutvecklingen för elektrostillinjen blivit betydligt högre och närmast sig två tredjedelar av masugnslinjens.

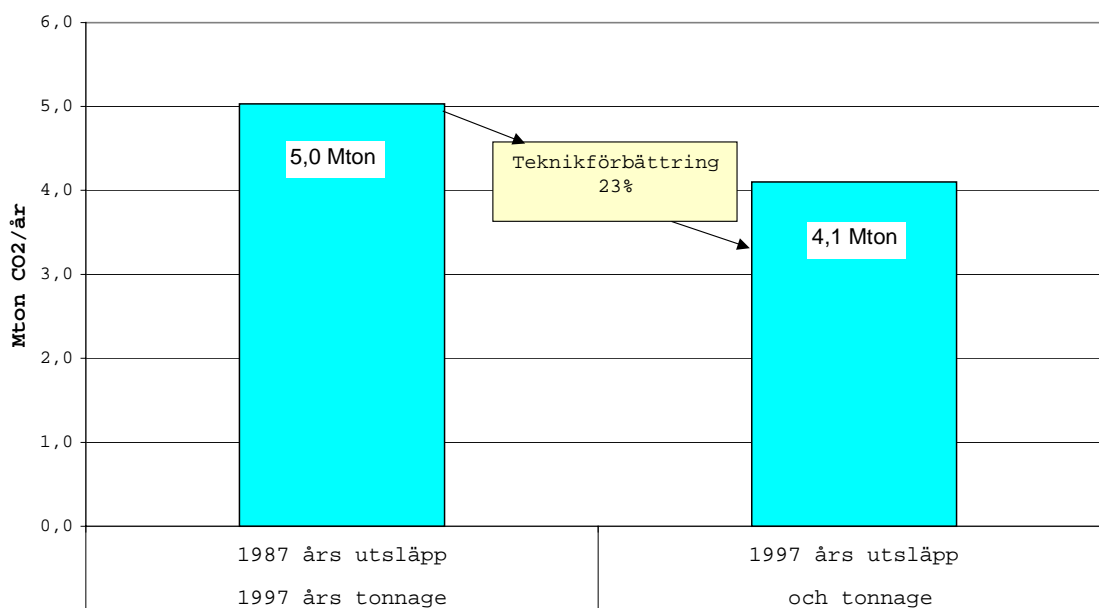
I högkonjunktur är skrottillgången låg och skrotet dyrt. Högkonjunkturåret 1997 var som nämndes ovan elektroståltillverkningen jämförelsevis låg, 38,7%.

1987 utvecklades 1,73 ton CO₂ per ton producerat råjärn i masugnsanläggningarna i Sverige och 0,038 ton CO₂ per ton producerat stål i elektrostillverken. 1997 var motsvarande siffror 1,54 och 0,046, en betydande minskning för råjärn men en viss ökning för elektrostill på grund av större insats av fossilt bränsle.

Slås koldioxidmängderna ut på hela ståltonnagen och krediteringar görs för försäljning av gas, var koldioxidutsläppen:

1987	0,948 ton CO ₂ /ton h f stål	Totalt 3,8 Mton
1997 med 1987 års åtgångstal	1,055 ton CO ₂ /ton h f stål	Totalt 5,0 Mton
1997	0,860 ton CO ₂ /ton h f stål	Totalt 4,1 Mton

Om energiåtgångstalen ej förbättrats från 1987 års läge hade koldioxidutsläppen 1997 varit 23% större (jämför figur 11 och bilaga 11).



Figur 11. 1997 års koldioxidutsläpp med 1987 års nyckeltal samt 1997 års verkliga utsläpp

7. Resultatförbättringar inom Sveriges stålindustri under tiden 1988–1997 som följd av statsstödd gemensam forskning

Resultat av ekonomiska satsningar inom den statsstödda gemensamma stålforskningen i Sverige har, som nämndes ovan, framtagits genom intervjuer med driftsledningar vid stålföretagen eller med hjälp av forskningsrapporter (10–14) och statistikuppgifter. De viktigaste projekten har detaljstuderats. Som också nämnts, valdes som satsningsperiod 1983–1992 och som resultatperiod 1988–1997, då satsningar beräknats ha resulterat i minskade kostnader ute i industrin.

De ekonomiska satsningarna i stålforskning från stat och företag under 10-årsperioden 1983–1992 visades i **tabell 2**. De uppgick till totalt 600 MSEK, varav från staten 294 MSEK. Eftersom satsningar i medeltal antogs ske 5 år före det att resultaten uppnåtts bör de vid en räntefot på 5% uppräknas med 28% till 768 MSEK och 376 MSEK för den statliga delen.

I en internationell utredning, den s k Trentini-rapporten (15) gjord på uppdrag av Europakommissionen år 1994, anges resultatförbättringar inom Europas stålindustri normalt till 15–40%, vara ett resultat av gemensamma forsknings- och utvecklingsarbeten. I föreliggande utredning har vid de fjorton speciellt studerade projekten forskningsinsatserna antagits ha bidragit med 15 eller 30% av kostnadssänkningar eller inkomsthöjningar vid berörd tillverkningsoperation, andelen beroende på hur direkt projekten bedömts ha medverkat till resultaten.

I **tabell 5** har sammanställts det beräknade ekonomiska resultat för de fjorton projekten under åren 1988–1997.

Under resultatperioden beräknas 4.065 MSEK ha inbesparats eller intjänats i stålindustrin vid de här utvalda viktiga exemplen på gemensamma forsknings- och utvecklingsinsatser och med ovannämnda antaganden om FoU-andelar i resultaten ("Forskningseffekten"). De största besparingarna gjordes inom masugnsavsnittet (projekten 1, 2, 3 och 4 i **tabell 5**). Men även insatserna inom ämnesvärmningen (projekt 10, 11 och 12) gav goda resultat. Produktutvecklingen var framgångsrik. Höghållfasta stål (projekt 13) svarar numera för över 40% av SSABs produktion. Duplexa rostfria stål (projekt 14) utgör en stor del av Sandviks och Avestas rostfria produktion.

Besparingarna och inkomstökningarna som följd av gemensam FoU (4.065 MSEK) utgör 7 gånger satsningarna utan diskontering och 5 gånger vid diskontering. Den statliga andelen av FoU-satsningen (294 MSEK) fick en "hävstångsverkan" i resultatet på ca 14 gånger utan diskontering och 11 gånger med.

Även andra forskningsprojekt än de fjorton speciellt studerade har givit positiva resultat och för de fjorton har forskningsandelen satts i underkant. Summan 4.065 MSEK skall därför ses som en försiktig skattning av det ekonomiska resultatet av den gemensamma statsstödda forskningen inom stålindustrin under perioden 1988–1997.

Energiinriktad forskning beräknades enligt ovan ha medverkat till en minskad energianvändning om 16,22 TWh för åren 1988–1997, vilket innebar en besparing på 2.200 MSEK vid energipriset 136 MSEK/MWh. 30% av besparingen eller 660 MSEK ansågs vara resultat av forskningsinsatserna.

I bilagorna 1–10 beskrivs kortfattat de viktigaste projekten inom stålindustrins forskning under den behandlade tidsperioden.

Tabell 5 Resultatförbättringar inom svensk stålindustri som följd av statsstödd gemensam forskning

**Satsningsperiod 1983–1992. Totalt 600 MSEK. Diskonterat 5 år framåt vid 5% ränta 768 MSEK,
Resultatperiod 1988–1997. Resultatförbättringar 4.065 MSEK.**

Utvecklingsprojekt eller arbetsområden		Företag	Resultatförbättring	Resultatförbättring	Total förbättring under perioden	Förbättringsandel hänförlig till FoU	FoU-relaterad resultatförbättring 1988–1997
Nr	Benämning		SEK/ton	MSEK/år	MSEK	%	MSEK
1	Optisinter	SSAB Ox	30	39	137 (3,5 år)	30	41
2	Olivinpellets	SSAB Luleå Oxelösund	101 19	182 25	1820 50 (2 år)	30	546 15
3	Kulsinter LKAB	LKAB	30 (Nettovinst) Ref. 20	360	3600	15	540
4	Kolinjektion	SSAB Luleå Oxelösund	101 19	37 31	270 310	30	81 93
5	Ljusbågsugnar styrsystem	Svenska elektrostålverk	225	45	450	30	135
6	Konverterdrift styrningsmodeller	SSAB Luleå (MEFCON), Sandvik, m fl (AOD)		3 40	30 400	30	9 120
7	Slaggrenhet	Ovako (350000 ton) Sandvik (50000 ton)	400 1500	140 75	1400 750	15	210 113
8	Stränggjutning kokillomröring	Ett flertal företag		99	990	30	297
9	Stränggjutning MEFOS mätbuss	Ett flertal företag		25	250	30	75
10	Oxy-fuel-teknik	AGA (Linde) Gas		336	3360	15	500
11	Ytkond. varma ämnen	Avesta		10	100	30	30
12	FOCS-RF processstyrningssystem för värmugnar	ABB, SSAB, Degerfors, m fl		150	1500	30	450
13	Höghållfasta stål	SSAB (0,85 Mton/år)	200	170	1700	30	510
14	Duplexa rostfria stål	Sandvik Avesta		100	1000	30	300
						Summa	4065

Bilagor

1. Utvecklingsprojekt gällande råjärnstillverkning
2. Utvecklingsprojekt gällande ljusbågsugnar
3. Utvecklingsprojekt gällande konverterstyrningsmodeller
4. Utvecklingsprojekt gällande ståls slagghenhet
5. Utvecklingsprojekt gällande stränggjutning
6. Utvecklingsprojekt gällande Oxy-fuel-teknik
7. Utvecklingsprojekt gällande ytkonditionering av varma ämnen
8. Utvecklingsprojekt gällande styrsystem för ämnesvärmningsugnar (FOCS-RF)
9. Utvecklingsprojekt gällande höghållfasta stål
10. Utvecklingsprojekt gällande duplexa stål och andra rostfria specialstål
11. Koldioxidutsläpp 1997 och 1997 med 1987 års nyckeltal

Utvecklingsprojekt gällande råjärnstillverkning

Nya järnmalmsbeskickningar i masugnar

(Projekt 1, 2 och 3 i tabell 5)

Bränsleförbrukning i masugn är till stor del en funktion av egenskaperna hos järnbärarna. Dessa egenskaper är bl a järnhalt, reducibilitet och motstånd mot sönderfall under transport till masugn och under reduktion i ugnen. I slutet av 1970-talet kunde konstateras, grundat på ca 30 års erfarenhet, att pellets krävde mer bränsle än sinter (50–60 kg/t råjärn). Inspirerade av lärdomar från kylda japanska masugnar bedrevs därför flera parallella studier i världen av mekanismerna för reduktion av järnmalmsagglomerat i masugnar för att fastställa optimala egenskaper.

Både hos LKAB och i Jernkontorets regi (det vill säga bl a vid KTH och MEFOS) undersöktes i laboratorieskala inverkan av olika driftsvariabler på de ur svenska malmer framställda järnmalmsagglomeratens reduktionsbeteende. Ur nationell synpunkt var det emellertid vid denna tid dessutom viktigt att hitta möjligheter att finna avsättning för de delar av de lappländska malmerna som har höga fosforhalter. De senare blev nämligen allt mindre eftertraktade på LKABs naturliga marknader. Men för att avlägsna fosfor måste malmen finmalas. Detta ger en produkt som är mindre lämplig för sintring. Frågorna var alltså:

1. Kan man utveckla en sugsintringsteknik som kan utgå från finmald slig och ge en sinter med lika bra eller bättre reducibilitet som konventionell sinter? Eller kan man
2. Utveckla en slags pellets som har bättre egenskaper än konventionella pellets (s k sura pellets)
3. Och kan man köra en masugn med enbart en sådan pelletssort?

Man arbetade efter bägge dessa spår samtidigt (7, 12). SSAB Oxelösund bedrev utveckling av sugsintring i sitt moderna sinterverk. På förslag från KTH provades en sinter baserad på höganrikad, finkornig malmbergsslig och med en för masugnsdrift optimal sammansättning, s k *optisinter*. I denna höjdes järnhalten från normala 60% till 62–63% och sammansättningen i övrigt avvägdes så att efter reduktion och smältning i masugnsinterns icke järnoxider och koksaskan bildade en lämplig sammansättning på masugnsslaggen.

LKAB utprovade tillsammans med SSAB Luleå, Jernkontoret och KTH en ny kulsintertyp, s k *olivinpellets*, med som framgår av namnet hög tillsats av mineralet olivin. Olivinpellets fick högttemperaturegenskaper och reducerbarhet som gav mycket goda driftsresultat i masugnen.

Sammansättningen hos LKABs olivinpellets var visserligen utvecklad i laboratorieskala 1981–1982, men möjligheterna att använda denna råvara i driftsskala gavs inte förrän omfattande praktiska studier var genomförda.

Samtliga tre svenska masugnar och en finsk masugn har numera övergått till 100% olivinpellets. SSAB Oxelösund gick över från optisinter till olivinpellets år 1995, då sinterverket lades ned av miljöskäl.

Övergång från normal sugsinter till optisinter i SSAB Oxelösunds masugnar gav en besparing på 30 SEK/ton råjärn eller 39 MSEK/år och totalt 137 MSEK under de 3,5 år sintertypen

användes innan man som nämndes 1995 övergick till olivinpellets, vilket sänkte kostnaden för råjärn ytterligare 19 kr/ton. 30% av besparingen tillskrivs forskningsinsatser.

Införande av olivinpellets som ersättning för sura pellets vid SSAB Luleå innebar en kostnadssänkning på 101 SEK/ton råjärn och som ersättning för optisinter i SSAB Oxelösund som nämnts 19 SEK/ton. Total inbesparing under 10-årsperioden 1988–1997 blev hela 1.870 MSEK, vid 30% forskningsrelaterad besparing 560 MSEK.

Olivinpellets svarar också för en mycket stor del av LKABs exportintäkter förutom försäljningen på den nordiska marknaden. År 1998 exporterades t ex 12 milj ton olivinpellets med en nettovinsk på 30 SEK/ton (20).

Kolinjektion i masugnar

(Projekt 4 i tabell 5)

Ett mycket viktigt förfarande som införts under senare år inom råjärnstillverkningstekniken är *injektion av stenkolspulver* i masugnens formnivå för att ersätta koks med billigare kol. För att kompensera kolets kylverkan ökas därvid blästerns temperatur och syrehalt. Tidigare användes insprutning av olja, som efter oljekriserna 1973 och 1978 dock blev dyrare än koks. I dagsläget insprutas i masugnarna i Luleå 140 kg kol per ton tackjärn och i Oxelösund 90 kg.

Utvecklings- och utredningsarbetet gällande kolinjektion genomfördes i samarbete mellan KTH, Jernkontoret, SSAB och Beijing University of Iron and Steel Technology (12, 13).

Ett speciellt injektionsförfarande utvecklades. Installationer gjordes vid SSAB Luleå år 1985 och SSAB Oxelösund 1987 av den tyske firman Klöckner. Klöckner övertog och marknadsförde sedan metoden.

Besparingen genom att ersätta koks med injektionskol, som till 30% bör kunna tillskrivas forskningsinsatser, rör sig i dagsläget om 30–40 SEK/ton råjärn i Luleå och 20–30 SEK/ton i Oxelösund. Under resultatperioden 1988–1997 var injektionsmängderna och därmed besparingarna lägre än i nuläget som framgår av **tabell 5**.

Totalt sett har besparingarna som åstadkommits genom förbättringar av beskicksningsmaterial och införande av kolinjektion varit mycket stora vid svensk masugnsdrift. Tillsammans rörde de sig om över 300 MSEK/år under resultatperioden 1988–1997 och de är nu ännu högre.

Bl a nedanstående utredningar och forskningsprojekt har gjort detta möjligt.

STU-utredning (KTH) nr 74-1977 – Råjärnsprocesser – Sveriges FoU-behov

JK-projekt nr	Namn
2108/84	Sintring av järnmalm
2126/84	Reaktionsmekanismer i masugnens mjuknings- och smältzon
2117/88	Optimering av masugnsbeskicksningar (optisinter)
2116/88	Masugnsslaggens egenskaper vid hög MgO-halt
2121/89	Beskicksningsmaterial, högttemperaturegenskaper vid hög kolinjektion och syrgasanrikning
2131/92	Förbättring av högttemperaturegenskaper hos järnmalmsagglomerat

Utvecklingsprojekt gällande ljusbågsugnar

(Projekt nr 5 i tabell 5)

Ljusbågsugnsprocessen bygger på skrot som råvara. Smältningen kräver elektrisk energi och det effektiva utnyttjandet av denna är grunden för processens ekonomi. Principiellt kan man säga att ekonomin uppnås genom att sörja för att den insatta energin utnyttjas just till värmning och smältning av skrotet och att så lite som möjligt strålar på ugnens innerväggar och tak. Ett inbyggt och betydelsefullt inslag är att under den tilltagande nedsmältningen rör sig beskickningen, dvs den sjunker samman så att annat än skrot exponeras för ljusbågarna. Detta leder till strålningsförluster. Olika metoder har utvecklats för att motverka detta inom Jernkontorets forskning (7, 13).

I början av åttiotalet började man sålunda utnyttja information från kylpanelerna för att styra nedsmältningförloppet. Därefter utvecklades matematiska modeller som kunde ta hänsyn till slaggbildningsförloppet. Modellerna utvidgades senare till att bli allt mer kompletta för optimering av energiinsatsen som funktion av tiden. Framför allt nedanstående kommittéer har varit sysselsatta med arbetet.

JK-projekt nr	Namn
2202/81	Processtyrning av LB-ugnen
2213/85	Dynamisk modell för styrning av LB-ugn
2220/87	Energibesparing genom effektiviserad slaggföring och raffinering i LB-ugn
2312/93	Energioptimering av LB-ugnar
2320/89	Effektivare skrotsmältningsteknik

Dessa framtagna processoptimeringssystem och processuppföljningssystem (POS + PUS) har haft stor framgång och har införts eller är under installation i svenska elektrostålverk. Framgången illustreras av nedanstående tabell som visar tillförd smältkraft per ton flytande stål för svenska verk under tiden 1986–1997.

	Spec smältkraft kWh/t, 1986	Syrgas Nm ³ /t	Spec smältkraft KWh/t, 1997	Syrgas Nm ³ /t
Avesta	548	25	450	8
Degerfors	615	19	550	
Björneborg	855		610	
Söderfors	781		490	
Hofors	622	26	485	25
Sandviken	660		550	4
Hagfors	858	2	620	3
Halmstad	548	20	600	3
Smedjebacken	526	24	383	18
Vägt medelvärde	601		486	

Uttryckt i kronor utgör besparingen 22,5 SEK/ton stål (25 öre/kWh/t) och per år 45 MSEK 30% forskningsandel av besparingen blir 135 MSEK för perioden 1988–1997.

Vi kan alltså konstatera att 115 kWh/t har sparats under dessa år. För perioden 1987–1997 kan motsvarande besparing uppskattas till ca 90 kWh/t vid en produktion på 2 Mt/år blir besparingen 0,18 TWh/år.

Utvecklingsprojekt gällande konverterstyrningsmodeller

(Projekt nr 6 i tabell 5)

Övergripande mål för projektet vara att utveckla processtyrningsmodeller som möjliggör direkt tappning från stålkonvertrar. KTH och HTH i Finland utvecklade teoretiska styrningsmodeller. MEFOS vidareutvecklade modellerna och tillämpade resultaten vid konverterdrift (7, 12).

MEFCON är ett system för indirekt dynamisk processtyrning av LD-konvertrar, där kontinuerlig mätning av bl a avgasens sammansättning ger aktuellt dataunderlag för värme- och massbalanser. MEFCON som utvecklats vid MEFOS, möjliggör direkt tappning av stålkonvertrar till lägre kostnad än inköp av styrmodeller utifrån användning av alternativ teknik (exempelvis skubblans). MEFCON tillämpas nu vid SSAB Luleå. Årligen inbesparas ca 3 MSEK. Den potentiella besparingen är betydligt högre.

Det har även utvecklats en modell för AOD-konvertrar (9, 10, 11). Den tillämpas vid Sandvik, Avesta och Degerfors med gott resultat. Ökad produktivitet och foderhållbarhet jämte minskade åtgångstal beräknas ge en årlig besparing på ca 40 MSEK vid de tre företagen. Vid 30% forskningsandel betyder detta 120 MSEK för 10-årsperioden.

JK-projekt nr	Namn
2107/83	Styrnings- och mätsystem i LD-processen
2122/89	Processtyrning med MEFCON
2223/87	Processtyrning vid färskning av rostfritt stål
2352	Enslags praxis i AOD
2333	Processtyrning i AOD
2335/89	MF – Effektiviserad processföring i AOD/CLU
2134	Konverterstyrning

Utvecklingsprojekt gällande ståls slaggrenhet

(Projekt nr 7 i tabell 5)

Slaggrenhet är kanske den väsentligaste egenskapen hos ett kvalitetsstål. Ett slaggrent stål är resultatet av en skickligt genomförd stålframställningsteknik och en lämplig efterbehandling av stålet, i första hand genom så kallad skänkbekning, vid vilken det sker en mycket effektiv desoxidation och svavelrening.

Inom Jernkontorets forskningsverksamhet bedrivs det processmetallurgiska forskningsarbetet gällande ståls renhet inom Teknikområde 23 "Ljusbågsteknik – Skänkmellurgi" (7, 13).

Forskningen har resulterat i betydande kvalitethöjningar och även energibesparingar.

Som exempel på insatser inom *skänkmellurgiområdet* kan tjäna de statliga satsningar om 10 MSEK och industrisatsningar 15,5 MSEK på forskningsuppgifter inom "Forskningsblock – Skänkmellurgi" under tidsperioden 1991–1992 (13).

Bland forskningsprojekten gällande *slaggrenhet* skall här nämnas:

JK-projekt nr	Namn
2501	Rent stål. Bättre kontroll och säkerhet
2531/86	Desoxidation
2341	Produktivitet i skänkgugn
2342	Legeringsteknologi
2345	Ultrarent stål
2525/86	Rent stål - Processkontroll
4016/89	Bestämningsmetodik – inneslutningar i stål

Som modell för beräkning av ekonomiska vinsterna av kvalitethöjningarna räknas på förslag av Ovako att en prisrabatt på åtminstone 5–10% skulle behöva ges för att man skulle kunna behålla sina marknadsandelar vid en minskat kvalitetsfördel. Det skulle för Ovako betyda en inkomstminskning per år på ca 140 MSEK (350.000 ton, 400 kr/ton) och Sandviken 75 MSEK (50.000 ton, 1.500 kr/ton).

Utvecklingsprojekt gällande stränggjutning

(Projekt 8 och 9 i tabell 5)

Ett optimalt utnyttjande och samkörning av processtegen smältning – gjutning – valsning är av mycket stor betydelse för ståltillverkningens effektivitet. Gjutningsavsnittet intar därvid en speciellt viktig ställning eftersom såväl produktivitet, materialutbyte, produktkvalitet som energiförbrukning till stor del beror på genomförandet av gjutningsoperationen. Övergången från kokillgjutning till kontinuerlig gjutning, även kallad stränggjutning, som huvudsakligen skedde under 1970- och 1980-talen betydde att synnerligen stora framsteg. Kontinuerlig gjutning utgör en nyckelteknologi inom ståltillverkningstekniken. I Sverige stränggöts år 2002 88% av tillverkat stål. Ett intensivt utvecklingsarbete bedrivs fortfarande för att minska den dyra kokillgjutningen, som ännu används för kullagerstål och höglegerade specialstål.

Inom Jernkontorets forskning ägnas teknikområde 24 (7, 14) åt ”Gjutning och stelning”. Ett stort antal kommittéer arbetar med olika projekt. I **tabell 5** över beräknade resultat av forskningen representeras stränggjutningen av ”Omröring i kokill” och ”Användning av MEFOS mätbuss”.

Ett stort problem vid stränggjutning är centrumsegringar. Elektromagnetisk omröring både i början och slutet av stelningen av ämnessträngen är en väg att minska dessa segringar. Andra sätt att få ned segringarna är mekanisk ”soft reduction” och ”termisk soft reduction”. Arbeten inom Teknikområde 24 har genom olika utvecklingsarbeten, bl a mätning av segringsförloppet medverkat till införande av kokillomröring vid svenska stålverk. Materialutbyten har ökat 2–3% genom omröringstekniken. Sandvik har med hjälp av omrörare överfört 30000 ton götstål till stränggjutning.

MEFOS mätbuss, som är ett ”mobilt mätsystem” har kommit till användning vid ett flertal projekt inom bruksforskningen genom vilka man kunnat förbättra stränggjutna ämnens kvalitet, speciellt formstabiliteten. Bussens utrustning har också använts vid ”utbytesprojekten”. 1985 beviljade NUTEK (STU) 10,5 MSEK för ”mätbussens” uppbyggnad. 1988 beviljades ett tilläggsanslag på 2,8 MSEK.

Bland forskningsprojekten inom gjutningsområdet kan särskilt nämnas:

JK-projekt nr	Namn
2450/80	Elektromagnetisk omrörning vid stränggjutning
2416	Dynamiska rörelser i stränggjutningsmaskinen
2410/86	Inverkan av EMS i kokillen vid stränggjutning av kolstålsbillets
2418	Optimering av sek. kylning soft reduction
2406/85	Kokillfrågor – Material – Kraftmätning
2407/85	Kylkammaren
2408/85	Maskinstatus

Utvecklingsprojekt gällande oxy-fuel-teknik

(Projekt nr 10 i tabell 5)

Ett mycket viktigt energirelaterat forskningsarbete har gällt att utveckla teknik för ersättning av luft med syrgas vid förbränningsprocesser. Tekniken benämns oxy-fuel-förbränning. Användning av syrgas i brännare i värmugnar leder till följande fördelar:

- ökad produktion
- minskad bränsleförbrukning
- förbättrad kontroll av ugnsatmosfär
- lägre avgasmängd (70–905)
- minskad glödskalbildning
- bättre ytkvalitet
- lägre investeringskostnad

Storleken på de bränslebesparingar som åstadkommit rör sig om 30–60% och produktionen i ugnarna kan höjas 40–60%. Under senare år har de miljömässiga fördelarna uppmärksammas alltmer. CO₂- och NO₂-utsläppen kan minskas ca 30%.

AGA-Lindegas har under det senaste årtiondet installerat oxy-fuel-brännare av olika typ vid ett 50-tal ugnsenheter. En särskilt intressant applikation är s k direktvärmning av band, där många små brännare värmer bandet direkt. Bland andra användningsområden kan nämnas oxy-fuel tillsatsvärmning i ljusbågsugnar jämte förvärmning av stålskänkar och konvertrar.

Oxy-fuel-tekniken beräknas svara för besparingar på ca 290 MSEK/år inom svensk stålindustri. 15% eller 44 MSEK/år anses vara resultat av forsknings- och utvecklingsarbeten.

Nedanstående JK-kommittéer får tjäna som exempel på insatser inom Oxy-fuel-området.

JK-projekt nr	Namn
2212/83	Oxy-fuel för rostfria stål
2221/87	Extra energitillförsel till LB-ugnen

Utvecklingsprojekt gällande ytkonditionering av varma ämnen

(Projekt nr 11 i tabell 5)

Teknik för varmslipning av varma ämnen utvecklades vid MEFOS och AvestaPolarit i Avesta. Tekniken har införts både vid AvestaPolarit både i Avesta och Torneå. Den har även funnit tillämpning hos Acelor Stainless (Spanien) och Posco (Korea).

Varmslipningen förkortar ledtiderna och man kan planera valsningen direkt i samband med stränggjutningen, vilket möjliggör ett helt varmt flöde och minskning av mellanlager. Detta medför naturligtvis betydande energibesparingar. För Avesta beräknas besparingen till 10 MSEK/år.

Ytkonditionering av varma ämnen finansierades genom ett anslagspaket vid MEFOS. ”Ytkonditioneringspaketet”, (totalt 4,5 MSEK, varav 84% statliga medel och 16% industri-medel.

JK-projekt nr

Ett flertal

Namn

Ytkonditioneringspaket

Utvecklingsprojekt gällande processtysystem för ämnesvärmningsugnar (FOCS-RF)

(Projekt nr 12 i tabell 5)

De gjutna stålämnen måste värmas till rätt temperatur för varmbearbetningen, som vanligen sker vid temperaturer mellan 1000 och 1300°C beroende på stålsort. Av kvalitets- och energieffektivitetsskäl finns det en optimal värmningskurva för varje stålsort och dimension. Värmningen sker numera oftast i kontinuerliga ugnar, t ex stegbalksugnar. De bränslen som kan användas i ugnarna är tjockolja, gasol eller koksugns gas.

Ugnarna indelas i ett varierande antal zoner med individuella temperaturkontroller. Flera faktorer påverkar värmningen av ämnena – stålsort, vikt och dimension, sluttemperatur, värmningskurva, värmekapacitet och värmeledning. För kontroll av varje ämnes värmningskurva krävs datoriserade processtysystem och temperaturberäkningsmodeller.

Utvecklingen av processtysystem för värmning startade 1979 och har sedan pågått i ett flertal projekt, se nedan. Den mest betydelsefulla versionen avser ämnesvärmningsugnar – FOCS-RF (Fuel Optimization and Control System – Reheating Furnaces). Anslagen gavs i form av ett paket ”Ämnesvärmepaketet”. Industribidragen var 27%. Hela paketet uppgick till 27,3 MSEK.

JK-projekt nr	Namn
5168/79	Processtyrning av ämnesvärmningsugnar
3178/80	Datorstyrning av glödnings- och betningslinjer
5111/86	Ugnsstyrstrategier för varmt ämnesflöde
5119/88	Vidareutveckling av bränsleoptimerings- system för omvärmningsugnar
5123/89	Simuleringsprogram för FOCS-RF
5131/92	Vidareutveckling av FOCS-AF stysystem för bandglödning
5132/92	Adaptivt bränsleoptimeringssystem FOCS-RF för omvärmningsugnar
5133/93	Realtidssystem för simulering och styrning av satsvisa värmebehandlingsugnar

Syftet har varit att utveckla stysystem för ämnesvärmningsugnar och andra ugnar med vars hjälp en förhöjd produktion, förbättrad bränsleekonomi och ökat materialutbyte kan erhållas. I följdprojekt har system för kontinuerliga och satsvisa värmebehandlingsugnar tagits fram. FOCS-RF kan även hantera varierande temperatur på ingående ämnen i ugnen, vilket är nödvändigt vid införande av varmt ämnesflöde.

De flesta ugnar inom svensk stålindustri har idag FOCS-RF-system. Systemet säljs även internationellt genom ABB. För närvarande finns det totalt ca 50 FOCS-RF-system i världen.

Energibesparing per ton varmt material till följd av installation av processtysystemet FOCS-RF uppgår till ca 50 kWh/ton varmt material, vilket motsvarar ca 240 GWh/år. Den gemensamma forskningens bidrag till denna förbättring bedöms egentligen vara 100% men sätts försiktigtvis till 30%.

Utöver bränslebesparingen har materialutbytet kunnat ökas med 0,2–0,5% tack vare minskad glödska-bildning (motsvarar ca 70 GWh/år). Vid framtida införande av varmt ämnesflöde vid svenska stålverk har energibesparingspotentialen beräknats till ca 60 GWh per år.

Genom ökning av produktivitet och energibesparing beräknas FOCS-RF-projektet under resultatperioden ha givit ett resultat på 150 MSEK/år och vid 30% FoU-andel 45 MSEK/år som ”forskningseffekt”. I summan 150 MSEK/år ingår del i försäljningsintäkter för ABB om 10 MSEK/år.

Utvecklingsprojekt gällande höghållfasta stål

(Projekt 13 i tabell 5)

Under senare år har utveckling av höghållfasta, låglegerade stål visats stort intresse i Sverige, framför allt av SSAB. Det är fråga om låglegerade stål (legeringsmedel, vanadin, niob, titan, mm) som får sin höga hållfasthet genom kombinationen legeringsteknik, valsningsteknik och värmebehandling. Ca 40% av SSABs produktion är av denna typ. Stålen marknadsförs i form av grov- och tunnplåt. Tonnaget växer ständigt.

Införandet av höghållfasta stål i SSABs tillverkningsprogram var ett livsvillkor för företaget. Intäktsökningar har i **tabell 5** satts till låga 200 SEK/ton, vilket betyder ca 170 MSEK/år vid 0,85 Mton/år. Forskningsandelen beräknas vara 30%, vilket betyder 510 MSEK/år under perioden 1988–1997.

Bland JK-projekt som behandlat höghållfasta stål kan särskilt nämnas:

JK-projekt nr	Namn
4186/84	Accelererat avkyllt stål som konstruktionsstål

Utvecklingsprojekt gällande duplexa stål och andra rostfria specialstål

(Projekt 14 i tabell 5)

Under senare år har s k duplexa rostfria stål fått ökad uppmärksamhet inom svensk ståltillverkning. De duplexa rostfria stålen har en blandad austenitisk-ferritisk struktur, som ger hög hållfasthet, förutom att stålen kan upplegas till höga kromhalter krom (18–27%) som ger mycket hög korrosionsbeständighet. Svenska stålföretag har legat i täten vid utvecklingen av dessa ståltyper (Sandviken, Avesta). Stålen har blivit ett slagnummer för svensk stålindustri. Vid en andel av resultatet på 30% beräknas forskningen inom detta område åtminstone ha givit 300 MSEK under perioden 1988–1997.

Inom Jernkontorets forskning behandlas de rostfria stålen t ex i nedanstående forskningsuppgifter:

JK-projekt nr	Namn
4311/88	Sprickutbredningsegenskaper hos duplexa rostfria stål
4313/88	Jämviktsstudier för rostfria stål
4314/88	Korrosionsutmattning hos duplexa rostfria stål

**Koldioxidutsläpp 1997 och 1997 med 1987 års nyckeltal
(4.760 kton handelsfärdigt stål)**

	Summa koldioxid ton	Produktion kton	ton CO₂/ton prod	Summa koldioxid, ton 1997 års produktionsmix och - volym samt 1987 års spec. utsläpp
	1997	1997	1997	
Koksverk	31 574	1 100	0,029	156 702
Masugn	4 694 946	3 060	1,534	4 847 901
LD-stålverk	48 995	3 158	0,016	42 958
LB-stålverk	89 624	1 959	0,046	72 243
Varmbearb.	615 134	4 609	0,133	842 451
SUMMA	5 480 273	4 769	1,149	5 962 255
Sinterverk				232 607
TOTALT				6 194 862
Försäljning BFG+LDG	1 378 775			1 163 253
SUMMA				
NETTO koldioxid	4 101 498		0,860	5 031 609
				+23%
	Summa koldioxid ton	Produktion kton	ton CO₂/ton produkt	
	1987	1987	1987	
Koksverk	156 132	1 096	0,142	
Sinterverk	175 856	1 050	0,167	
Masugn	3 665 115	2 314	1,584	
LD-stålverk	31 636	2 326	0,014	
LB-stålverk	82 896	2 248	0,037	
Varmbearb.	685 257	3 749	0,183	
SUMMA	4 796 892	4 025	1,192	
		handelsfärdigt stål inkl ämnen		
Försäljning BFG+LDG	981 777			
SUMMA				
NETTO koldioxid	3 815 115		0,948	

9. Erkännande

Tekn dr Sven Ekerot har mycket förtjänstfullt medverkat i utredningen med insamling av resultat av forskningsuppgifterna vid stålföretagen och vid intressanta diskussioner av olika problemställningar.

10. Referenser

1. J O Edström, Statsstödd energirelaterad forskning inom Sveriges stålindustri – satsningar och resultat, Stockholm, januari 1999.
2. Svensk Stålstatistik Årshäfte 1997, Järnverksföreningen.
3. Ekonomiska nyckeltal för svensk stålindustri, Jernkontoret 2002-11-06.
4. Svensk Stålstatistik 2003. Järnverksföreningen och Jernkontoret, januari 2003.
5. Jernkontorets projektlista 1972–1993.
6. Jernkontorets Ramprogram (5,6,7 1983–1987).
7. Jernkontorets Teknikområden 21, 23, 24 (1987–1992).
8. MEFOS (MF och BTF) Ramprogram (1983–1992).
9. MEFOS (MF och BTF) spec finansiering (1983–1992).
10. Jernkontorets gemensamma nordiska stålforskning. Jernkontorets Forskning D-756 Översikt 2001.
11. Stålforskningsprogram för Sverige 2003–2007. Jernkontorets Forskning, oktober 2002.
12. Verksamhetsberättelser 1987–1992. JK Teknikområde 21 ”Malmbaserad metallurgi”.
13. Verksamhetsberättelser 1993–1996, JK Teknikområde 23 ”Ljusbågsugsteknik – Skänkmetsallurgi”.
14. Verksamhetsberättelse. JK Teknikområde 24 ”Gjutning och stelning”.
15. Trentini, Assessment of Direct Financial Returns on ECSC Steel Research Programmes from 1981 to 1990. European Commission Directorate General XIII Published by Luxembourg Office for Official Publications of the European Committees, March 1994.
16. Verksamhetsberättelse LKAB 1995.