



# rapport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

## Ekologisk produktutveckling, fallstudie massakokare

Kåre Tjus Mats Almemark Elisabet Kock

B 1513

Februari 2003



<b>Organisation/Organization</b> IVL Svenska Miljöinstitutet AB IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.	<b>RAPPORTSAMMANFATTNING</b> <b>Report Summary</b>
<b>Adress/address</b> Box 21060 100 31 Stockholm	<b>Projekttitel/Project title</b>
<b>Telefonnr/Telephone</b> 08-598 563 00	<b>Anslagsgivare för projektet/ Project sponsor</b>  IVL 7 -% fonden
<b>Rapportförfattare/author</b> Kåre Tjus Mats Almemark Elisabet Kock	
<b>Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report</b> Ekologisk produktutveckling, fallstudie massakokare	
<b>Sammanfattning/Summary</b> <p>Denna studie är en jämförande analys av olika material som används i massakokare vid två olika bruk där sulfatmassa tillverkas. Fokus har legat på miljöaspekter men arbetsrelaterade skador och ekonomiska aspekter har också ingått i analysen. De material vi har studerat är ett låglegerat stål, ett rostfritt stål och ett compoundstål bestående av ett låglegerat stål med ett tunt lager rostfritt på ytan. De två bruken, A och B skiljer sig på så vis att korrosionsförhållandena är mycket kraftigare i bruk A. Vad gäller koldioxidemissioner är miljönyttan ganska låg vid bruk B. För bruk A ser man däremot en kraftig minskning av CO<sub>2</sub> utsläppen genom användningen av rostfritt stål. Orsaken till detta är en betydligt längre livslängd för det rostfria stålet.</p> <p>Vid bruk A är utsläppet av krom mycket större vid användning av låglegerat stål. Förklaringen ligger i att det använda låglegerade stålet innehåller små mängder krom, cirka 0,1 %, men då korrosionen är mångfaldigt större för låglegerat stål, blir emissionen trots den låga halten högre för det låglegerade stålet.</p> <p>Andra undersökta miljöaspekter visar också fördelar för det rostfria stålet vid bruk A.</p> <p>I både bruk A och B är investeringskostnaden per ton massa markant högre för låglegerat stål än för materialen rostfritt och compound. Kostnaden för rostfritt och compound är däremot ganska lika.</p> <p>Vi har också studerat den arbetstid som krävs vid framställning av massakokare och räknat detta i relation till producerad mängd sulfatmassa. För att tillverka en kokare av rostfritt stål behövs det för bruk A endast en tiondel av den arbetstid som motsvarande kokare kräver i låglegerat stål. För bruk B var den arbetstid som behövdes för framställning av massakokare, något lägre för det rostfria alternativet.</p> <p>Compoundstålet gav genomgående mycket bra miljöegenskaper genom en kombination av lång livslängd och minimal inblandning av krom och nickel.</p>	
<b>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren /Keywords</b> Livscykelanalys, produktutveckling, massakokare, rostfritt stål, ekonomi, arbetsmiljö	
<b>Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data</b> IVL Rapport/report B 1513	
<b>Beställningsadress för rapporten/Ordering address</b> IVL, Publikationsservice, Box 21060, S-100 31 Stockholm fax: 08-598 563 90, e-mail: <a href="mailto:publicationservice@ivl.se">publicationservice@ivl.se</a> eller via <a href="http://www.ivl.se/rapporter">www.ivl.se/rapporter</a>	

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	2
1 Bakgrund .....	3
2 Syfte och Metod .....	3
3 Undersökta fall .....	4
4 Användning av rostfritt stål .....	4
4.1 Rostfritt stål .....	4
4.2 Kretslopp av rostfritt stål .....	5
5 Fallstudie massakokare .....	5
5.1 Beskrivning av de undersökta alternativen .....	5
5.2 Ekonomisk lönsamhet .....	8
5.3 Miljöpåverkanstudie med LCA-metodik för de olika materialvalen .....	10
5.4 Sociala och etiska aspekter på olika materialval .....	18
6 Fallstudie vämeöverföringsrör i panna .....	24
7 Ecoefficiency för fallet massakokare .....	25
7.1 Ecoefficiency -begreppet .....	25
7.2 Ecoefficiency och ekonomisk kostnad för undersökta massakokare .....	26
8 Konsekvenserna vid en substitution av rostfritt stål med låglegerat stål .....	28
9 Diskussion av resultaten .....	30
10 Slutsatser .....	31
11 Planerat fortsatt arbete .....	31
12 Referenslista .....	32
Bilaga 1. Uppskattning av anläggningskapitalet .....	33

## Sammanfattning

Denna studie är en jämförande analys av olika material som används i massakokare vid två olika bruk där sulfatmassa tillverkas. Fokus har legat på miljöaspekter men arbetsrelaterade skador och ekonomiska aspekter har också ingått i analysen. De material vi har studerat är ett låglegerat stål, ett rostfritt stål och ett compoundstål bestående av ett låglegerat stål med ett tunt lager rostfritt på ytan. De två bruken, A och B skiljer sig på så vis att korrosionsförhållandena är mycket kraftigare i bruk A.

Vad gäller koldioxidemissioner är miljönyttan ganska låg vid bruk B. För bruk A ser man däremot en kraftig minskning av CO<sub>2</sub> utsläppen genom användningen av rostfritt stål. Orsaken till detta är en betydligt längre livslängd för det rostfria stålet.

Vid bruk A är utsläppet av krom mycket större vid användning av låglegerat stål. Förklaringen ligger i att det använda låglegerade stålet innehåller små mängder krom, cirka 0,1 %, men då korrosionen är mångfaldigt större för låglegerat stål, blir emissionen trots den låga halten högre för det låglegerade stålet.

Andra undersökta miljöaspekter visar också fördelar för det rostfria stålet vid bruk A.

I både bruk A och B är investeringskostnaden per ton massa markant högre för låglegerat stål än för materialen rostfritt och compound. Kostnaden för rostfritt och compound är däremot ganska lika.

Vi har också studerat den arbetstid som krävs vid framställning av massakokare och räknat detta i relation till producerad mängd sulfatmassa. För att tillverka en kokare av rostfritt stål behövs det för bruk A endast en tiondel av den arbetstid som motsvarande kokare kräver i låglegerat stål. För bruk B var den arbetstid som behövdes för framställning av massakokare, något lägre för det rostfria alternativet.

Compoundstålet gav genomgående mycket bra miljöegenskaper genom en kombination av lång livslängd och minimal inblandning av krom och nickel.

# 1 Bakgrund

Med en ekologisk produktutveckling avses en strävan efter att utveckla produkter som tillfredsställer mänskliga behov och ger livskvalitet, samtidigt som den ekologiska påverkan och resursutnyttjandet kraftigt minimeras under hela livscykeln.

Vid en ekologisk produktdesign, liksom vid all design, krävs en identifiering av vilka prestanda som produkten skall upprätthålla. Skillnaden mot en vanliga design är att här tillkommer en värdering av produktens miljöpåverkan. I ett kortare perspektiv väljs material eller materialkombinationer som sammantaget bäst tillfredsställer såväl miljömässiga som ekonomiska krav. I ett längre perspektiv drivs materialutvecklingen dessutom i en sådan riktning så att material med ännu bättre miljöegenskaper kan tas fram.

Det kan här gälla helt nya typer av material eller en förändring av råvaruproduktionen i riktning mot mindre miljöpåverkan.

Vid en bedömning av en produkts "nytta" används:

- *Ekonomiska bedömningar, såväl i ett snävare företagsekonomiskt som i ett större samhällsekonomiskt perspektiv*
- *LCA för att bedöma miljöpåverkan*
- *Påverkan på människans hälsa genom att ta hänsyn till bland annat arbetsmiljön*
- *Estetiska och kulturella aspekter*

Någon given modell för hur en sådan bedömning skall ske finns inte, och detta arbete utgör en del av ett större arbete för att få fram bättre metodik på området. En sådan metodik kan bland annat tjänstgöra som ett verktyg för att få fram bättre produkter enligt det föreslagna IPP, "Integrated product policy", - direktivet som antagits av EU's medlemsstater, där man avser att stimulera en framväxt av en marknad för "gröna" produkter.

# 2 Syfte och Metod

Syftet med denna studie är att genom en fallstudie ta fram underlag för att underlätta vid materialval i en ekologisk produktutveckling. De aspekter som ingår i underlaget är miljömässiga aspekter, ekonomisk lönsamhet samt arbetsrelaterade skador.

I denna fallstudie har vi fokuserat vår analys på material som används vid massakokning. Två bruk i Sverige har studerats och dessa har också bidragit med tekniska data. Vi har jämfört den ekonomiska lönsamheten för de tre olika materialen vid bruken

genom att studera investeringskostnader och underhållskostnader. För att jämföra de miljömässiga effekterna har vi använt oss av livscykelanalyser för de tre olika materialen. För att jämföra de arbetsrelaterade aspekter har vi i denna studie främst tagit fram den arbetstid som åtgår för olika delar av tillverkningsprocessen för massakokarna utan att i detalj kvantifiera arbetsskador. Däremot nämner vi något om skadestatistiken för olika verksamheter.

### 3 Undersökta fall

Fokus har här legat på produkter som idag tillverkas av rostfritt stål. I fallstudien har vi valt att studera sulfatmassakokare och del av en värmepanna. De material som idag är kommersiellt tillgängliga är framförallt rostfritt stål samt compound-stål bestående av låglegerat stål med ett tunt lager av rostfritt. Tidigare användes kokare i enbart låglegerat stål.

Det har framförts synpunkter på att rostfritt stål på sikt borde fasas ut på grund av toxiska egenskaper hos legeringsmetallerna. En sådan utfasning kan förväntas ge många negativa effekter på ekonomin, i synnerhet om inte fullgoda alternativ utvecklas.

## 4 Användning av rostfritt stål

### 4.1 Rostfritt stål

Rostfritt stål är ett legerat stål med en tillsats av minst 12 - 13 % krom. I austenitiska rostfria stål finns också en viss mängd nickel.

Rostfria stål kan till sin struktur vara såväl austenitiska som ferritiska eller duplexa, beroende på inblandning av andra legeringsämnen. Då hög seghet behövs föredras en austenitisk struktur som erhålls genom inblandning av nickel. Nickel ökar även korrosionsbeständigheten i vissa miljöer. Lägre nickelhalter, ca 4-7 %, ger duplexstål med en ferrit-austenitisk blandstruktur som har hög hållfasthet.

Det som orsakar rostskyddsegenskaperna är främst bildningen av kromhydroxider, vilka täpper till porerna i stålets ytterskikt och förhindrar passage av syre och därvid ytterligare rostangrepp.

Ett mellanting mellan rostfria material och låglegerat stål är sk rosttröga material, legeringar med typiska halter på omkring 5 % krom. Dessa material rostas snabbare än rostfritt men långsammare än låglegerat stål och används t ex i skorstenar.

Låglegerat stål är bättre än rostfritt ur aspekter som sprödhet och svetsbarhet.

## 4.2 Kretslopp av rostfritt stål

I Sverige produceras cirka 600 000 ton rostfritt stål per år. Konsumtionen av rostfritt stål är ca 50 000 ton per år. Enligt beräkningar från Avesta Polarit finns det idag totalt 800 000 ton rostfritt stål ackumulerat i den svenska teknosfären. 30 000 ton återförs till produktion av nytt stål varje år. Vid nytillverkning av rostfritt stål importeras också en hel del skrot.

Andelen rostfritt stålskrot vid nyproduktion är i Sverige cirka 80 - 90 %.

# 5 Fallstudie massakokare

## 5.1 Beskrivning av de undersökta alternativen

De data som använts i studien är från befintliga massakokare för produktion av barrträds massa, vid två olika bruk.

I sulfatmassakokaren utsätts kokaren för en starkt alkalisk lösning vid temperaturer på uppemot 200°C.

Kravet på det material som massakokaren skall tillverkas av är dels god korrosionsresistens, dels förmåga att klara av höga tryck. Rostfritt stål eller låglegerat stål eller ett compoundmaterial av dessa är de material som främst är tänkbara. En ytterligare viktig egenskap hos materialet är att det ej är för sprött.

Korrosionen varierar starkt från bruk till bruk och med olika typer av stål. Generellt kan dock sägas att kontinuerliga kokare ger en lägre korrosion än batchvis kokare, samt att kromnickelstål med högt krominnehåll, ca 22 %, ger den bästa korrosionsresistensen. Vi har nu valt att studera två fiktiva men tänkbara situationer:

Bruk A Satsvisa kokare med snabb korrosion. Vid nytillverkning av kokare används skrotbaserat stål i maximalt möjlig omfattning. Detta scenarium illustrerar en situation, där man av rent tekniska skäl troligen inte skulle byta material till låglegerat stål.

Bruk B. Kontinuerliga kokare med långsam korrosion. Detta scenarium illustrerar en situation, där ett materialbyte till låglegerat stål skulle kunna övervägas tekniskt sett. För att tydliggöra skillnaderna i miljöpåverkan vid tillverkningen av de olika stålsorterna har vi valt att anta, att man vid nytillverkning av kokare endast använder malmbaserat stål (jungfruliga råvaror).

För båda kokarna jämförs material av det låglegerade stålet SS1430, det rostfria stålet SS2377 samt ett compoundstål bestående av låglegerat stål belagt med ett tunt lager av det rostfria stålet SS2352.

### 5.1.1 Materialdata

Sammansättningen på de ingående konstruktionsstålen framgår av Tabell 1.

Tabell 1. Sammansättningen på de konstruktionsstål som använts i massakokarna.

Ståltyp	Fe %	Cr %	Ni %	Mn %	Mo %
Låglegerat stål SS1430	99	0,09	0,09	0,73	0,01
Rostfritt SS2377	67,5	22,2	5,7	1,5	3,1
Rostfritt SS2352(compound)	74,3	18	5,7	2	0

Utifrån dessa förutsättningar har nu de olika massakokarnas påverkan på *ekonomin, miljön och arbetsrelaterade skador* beskrivits.

Deras påverkan har relaterats till den nytta de åstadkommit, d.v.s. i detta fall mängd kokad sulfatmassa.

### 5.1.2 Bruk A

I detta bruk, har man 10 stycken mindre satsvisa kokare med vardera en kapacitet på 100 ton per dygn. Kokarna är 18,8 m höga med en diameter på 4,4m.

Idag används svartlut i förbehandling före massakokarna, vilket ger en ökad sulfithalt. Detta påverkar korrosionen negativt, men är bra för massakvaliteten och också bättre för miljön. Den ökade korrosionen gör att en låglegerad stålkokare idag inte skulle hålla längre än 4-5 år ( detta styrks bl a av korrosionsstudier utförda av korrosionsinstitutet på provplåtar i olika material som satts ut i de aktuella kokarna). I våra beräkningar har vi därför satt en livslängd på 4 år för en kokare av låglegerat stål, medan kokare i rostfritt och compound beräknas ha en livslängd på ca 50 år( baserat på förväntad teknisk livslängd).

Ett alternativt scenario, vilket är det faktiska körsättet idag, är att kokarna av låglegerat stål påförs en påsvetsning med några mm rostfritt material, kokarna beräknas då hålla i ca 30 år men kräver regelbundet underhåll vart tionde år i form av en ny påsvetsning. Detta kostar bruket 30 miljoner kronor varje gång, motsvarande en årskostnad på ca 3 miljoner kronor. Något intäktsbortfall vid påsvetsningen är inte medräknat eftersom flera kokare kan vara igång samtidigt.



Tabell 2. Grunddata för kokarna på bruk A. Kokarna arbetar satsvis.

	Låglegerat stål SS1430	Rostfritt SS2377	Compound låglegerat stål / Rostfritt SS2352
Kokarkapacitet, ton/dygn	100	100	100
Årsproduktion av massa, ton/kokare och år	33 000	33 000	33 000
Tjocklek hos kokarna, mm	65	50	47 (låglegerat stål) 3 (SS2352)
Mängd stål i kokarna, ton	128	97	91 (låglegerat stål) 5,8 (SS2352)
Kokarnas livslängd, år	4	50	50
Korrosionshastighet, mm/år	2,6	0,0012	0,004
Korrosionshastighet, ton stål/år	5,0	0,0023	0,0078
Total stålförbrukning, g stål/ton producerad massa (nyttillverkning + korrosion)	970	59	55 (låglegerat stål) 3,6 (SS2352)

### 5.1.3 Bruk B

På bruk B finns det en större kokare i låglegerat stål och en i rostfritt material, vardera med en kapacitet på 1 100 ton massa per dag, vilket motsvarar 363 000 ton massa per år vid en beräkning av 330 dagar på ett år. Kokarna är 50 m höga med en diameter på 5 m. Vid detta bruk har man ej lika kraftig korrosion som i bruk A, till viss del beroende på att man här har kontinuerlig kokning. Det är känt att bruket gör ett höststopp varje år för underhåll av samtliga maskiner men någon direkt underhållskostnad har varit svår att uppskatta. Den kokare som är i låglegerat stål kräver underhåll varje femårsperiod för svetsning. Vi har räknat med att en kokare av låglegerat stål måste bytas ut efter 30 år p.g.a. relativt kraftig korrosion, medan en kokare som tillverkas i rostfritt stål byts ut efter 50 år.

Tabell 3. Grunddata för kokaren vid bruk B. Kokaren arbetar kontinuerligt.

	Låglegerat stål SS1430	Rostfritt SS2377	Compound låglegerat stål / Rostfritt SS2352
Kokarkapacitet, ton/dygn	1100	1100	1100
Årsproduktion av massa, ton/kokare och år	363 000	363 000	363 000
Tjocklek hos kokarna, mm	65	50	47 (låglegerat stål) 3 (SS2352)
Mängd stål i kokarna, ton	404	306	288 (låglegerat stål) 18 (SS2352)
Kokarnas livslängd, år	30	50	50
Korrosionshastighet, mm stål/år	0,29	0,0011	0,0021
Korrosionshastighet, ton stål/år	1,8	0,0067	0,013
Total stålförbrukning, g stål/ton producerad massa (nyttillverkning + korrosion)	37	17	16 (låglegerat stål) 0,99 (SS2352)

Korrosionsdata har även här hämtats från en undersökning, utförd av korrosionsinstitutet, där man låtit provplåtar av olika material sitta ute i en befintlig kokare under ett års tid.

## 5.2 Ekonomisk lönsamhet

### 5.2.1 Ekonomisk lönsamhet vid jämförelse av material

I denna inledande studie begränsar vi oss till att främst studera rent företagsekonomiska kostnader. Vi har inte studerat samhällsekonomiska kostnader och konsekvenser av en materialomställning.

I företagskostnader, FK, ingår:

*Investeringskostnaden, IK*, som är en fast årskostnad (annuitet) beräknad på produktens beräknade tekniska livslängd. Som underlag till kostnadsberäkningen använder vi den tekniska livslängden, dvs när man faktiskt p.g.a. slitage eller som i detta fall korrosion måste byta ut ett material, och inte den ekonomiska livslängden, dvs när produkten eller materialet är avskrivet.

Annuiteten beräknas enligt följande:

$$I = \frac{k(1+r)^t r}{(1+r)^t - 1}$$

där

k= investeringskostnaden för en massakokare

r= räntesats

t= beräknad teknisk livslängd

- *Kostnad för materialunderhåll, UH*, som är rörliga kostnader för underhåll, röntgen, svetsning etc. inklusive personalkostnaden. Underhåll görs främst på låglegerat stål och har inte varit nödvändigt för det rostfria materialet.

### 5.2.2 Företagskostnader för två utvalda arbetsställen: Bruk A och Bruk B

I analysen av företagskostnaden använder vi två olika räntesatser för att kunna göra jämförelser, dvs 4% och 12%. Klimatkommittén och Miljömålskommittén har utgivit riktlinjer för s.k. konsekvensanalyser med riktlinjer för samhällsekonomisk lönsamhet. I denna har man rekommenderat en räntesats på 4%.

I åtgärdsprogrammet för industrin är åtgärderna inte sökta utifrån samhällsekonomisk lönsamhet utan från nära företagsekonomisk lönsamhet. För företagsekonomisk lönsamhet har vi räknat med en ränta på 12%.

**Bruk A (SEK)** Tio kokare, alla av låglegerat stål vardera med en kapacitet på 100 ton.  
Räntesats inom parentes

	Låglegerat stål (4%) 4 år	Låglegerat stål (12%) 4 år	Rostfritt (4%) 50 år	Rostfritt (12%) 50 år	Compound (4%) 50 år	Compound (12%) 50 år
IK/år	3 450 000	4 150 000	700 00	1 850 000	680 000	1 750 000
SEK per ton massa/år	105	125	22	56	21	53

**Bruk A (Scenario där kokaren av låglegerat stål håller 30 år men kräver underhåll)**

	Låglegerat stål (4%) 30 år	Låglegerat stål (12%) 30 år	Rostfritt (4%) 50 år	Rostfritt (12%) 50 år	Compound (4%) 50 år	Rostfritt (12%) 50 år
IK/år	725 000	1 550 000	700 00	1 850 000	680 000	1 750 000
UH/år	3 miljoner	3 miljoner				
SEK per ton massa/år	112	137	22	56	21	53

- Vid beräkning av investeringskostnaden är uppgifterna baserade på kostnadsuppgifter från Bruk A på vad en ny massakokare skulle kosta, för att beräkna den totala investeringskostnaden har en faktor på 3,5 använts, vilken antas täcka alla övriga projektkostnader vid installationen, se bilaga 1. För Bruk B är investeringskostnaden baserade på uppgifter från en leverantör av massakokare (avseende totala investeringskostnaden).

**Bruk B (SEK)** En kokare med en kapacitet på 1100 ton per dygn.  
Räntesats inom parentes.

	Låglegerat stål (4%) 30 år	Låglegerat stål (12%) 30 år	Rostfritt (4%) 50 år	Rostfritt (12%) 50 år	Compound (4%) 50 år	Compound (12%) 50 år
IK/år	9,3 miljoner	20 miljoner	7,6 miljoner	19,7 miljoner	7,6 miljoner	19,6 miljoner
SEK per ton massa/år	25,6	55	21	54	21	54

## Slutsatser

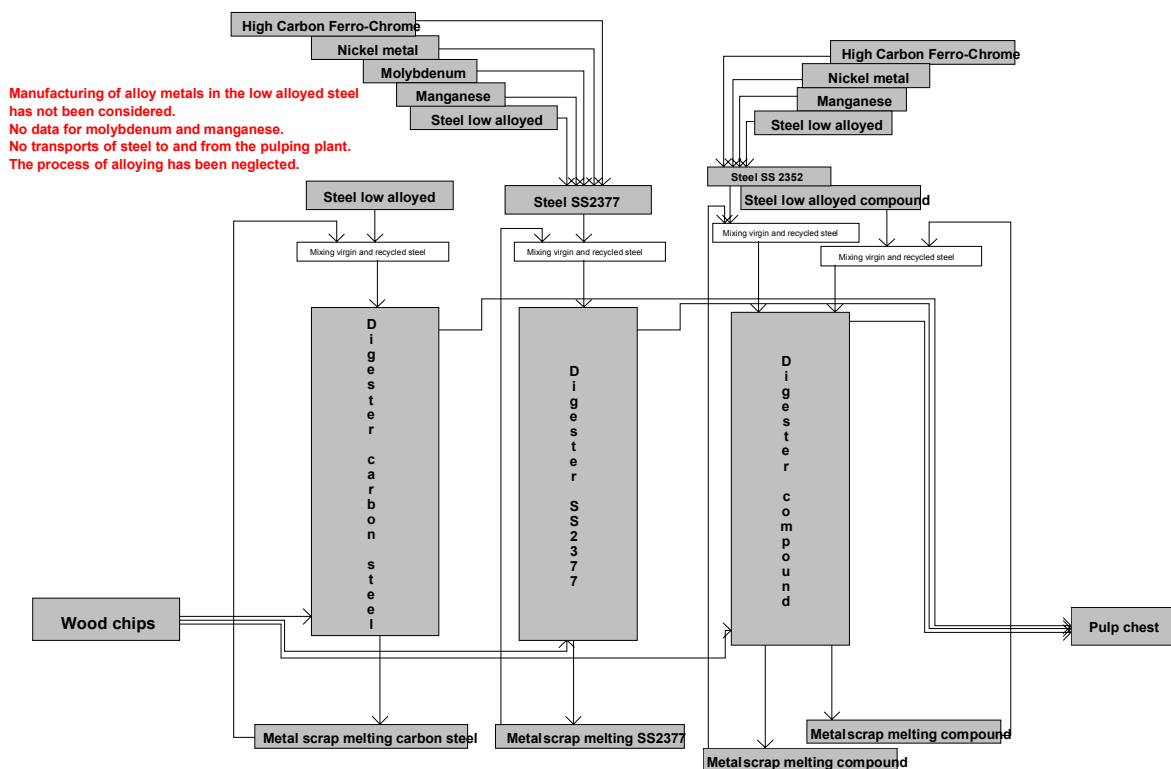
I samtliga tre fall är kostnaden per ton massa högre för låglegerat stål än för materialen rostfritt och compound. Kostnaden för rostfritt och compound är däremot ganska lika. Underhållskostnader har bara tagits hänsyn till i fallet låglegerat stål. Skillnaderna är mer markanta för bruk A vilket kan förklaras med en mycket lägre livslängd för låglegerat stål i jämförelse med de andra två materialen.

På bruk A med scenariot att den låglegerade stålkokaren håller 30 år är själva investeringskostnaden ganska lika för de tre materialen, men alternativet med låglegerat stål kräver omfattande underhåll vilket leder till en betydligt högre kostnad per ton producerad massa.

## 5.3 Miljöpåverkanstudie med LCA-metodik för de olika materialvalen

### 5.3.1 Systemet massakokare

I det studerade systemet jämför vi tre massakokare av olika konstruktionsmaterial, nämligen låglegerat stål, rostfritt stål SS2377 och ett compoundmaterial, bestående av låglegerat stål på insidan belagt med ytskikt av rostfritt stål SS2352. Kokarna tänkes arbeta parallellt och framställa en lika stor mängd pappersmassa var. I systemet betraktar vi endast kokningens effekter på materialet i kokarna. Framställning av den nödvändiga mängden stål, emissioner av metaller till massan till följd av korrosion under kokningen, samt omsmältning av kvarvarande mängd stål efter skrotning av kokarna ingår i systemet. Däremot ingår inte utvinning av träråvaran, hantering av pappersmassan efter kokning eller energi- och kemikalieförbrukning för själva kokningen i systemet. Inte heller beaktas miljöpåverkan av montering eller demontering av kokarna i denna analys. (de antas vara lika för alla tre materialen). Figur 1 visar ett systemschema.



Figur 1 Systembild för massakokarstudien.

### 5.3.2 Mål och omfattning

Studiens målsättning är att beskriva miljöpåverkan av materialvalet i kokarna. Datainsamlingen begränsas till generella data för framställning av låglegerat stål, ferrokrom och nickel. För utvinning av molybden och mangan har vi inga data. Den geografiska orten är inte närmare bestämd. Transporter av stål till och från massabruket ingår ej. Följande påverkanskategorier används i studien:

- Förbrukning av icke-förnybar energi, ej uppdelad på energislag.
- Resursuttag exklusive energivaror.
- Emissioner av växthusgaser
- Emissioner av försurande ämnen
- Emissioner av ämnen som ger marknära ozon.
- Emission av krom till vatten.

### 5.3.3 Beräkningsmetodik, funktionell enhet

Systemet i Figur 1 översattes till en datormodell i en programvara, KCL-ECO (version 3.1, The Finnish Pulp and Paper Research Institute), framtagen för beräkningar i livscykelanalyser. Varje processteg i systemet beskrivs av en modul (motsvarar rutorna i Figur 1), som relaterar in- och utflöden till varandra med hjälp av första ordningens

linjära ekvationer. In- och utflöden kan vara materialströmmar, energiflöden och emissioner till luft, vatten och mark. Modulerna knyts ihop med material- och/eller energiflöden. Hela systemet blir ett ekvationssystem av första ordningen, som beskriver material- och energibalanserna över hela systemet och över varje enskild modul.

### **Funktionell enhet, dvs. räknebas, är 1 ton producerad pappersmassa per kokare.**

Vid beräkningarna låter vi de tre kokarna på vardera bruk producera 1 ton pappersmassa var. Vi beräknar de miljömässiga effekterna av nytillverkning, korrosion under drift och skrotning av kokarna. För bruk A (lägre kokarkapacitet och högre materialförbrukning per ton massa än bruk B) antar vi, att skrotbaserat stål motsvarande den mängd skrot som fås från kokarna, används så långt det räcker vid nytillverkningen av kokarna. För bruk B antar vi, att kokarna nytillverkas av jungfruligt stål.

### **5.3.4 Inventering**

För framställning av låglegerat stål har vi använt generella data från en livscykelanalys av tillverkning av valsad tjockplåt. Data har samlats in från 55 fabriker i 17 länder. Systemet omfattar brytning av järnmalm, koksning, framställning av tackjärn i masugn, färskning till stål i syrgasugn och varmvalsning.

Data för ferrokrom har erhållits från en livscykelanalys, som bygger på data från en västeuropeisk och två sydafrikanska fabriker. Analysen anses återspegla europeiska förhållanden. Systemet beskriver framställning av ferrokrom med hög kolhalt via brytning av kromitmalm, malning och anrikning av malmen samt framställning av ferrokrom med hjälp av koks i ljusbågs- eller plasmaugn.

För nickel har data erhållits från the Nickel industry LCA group ("Life Cycle Assessment of Nickel Products", final report (2000), Ecobalance Inc). Data uppges vara ett världsgenomsnitt med undantag av de östeuropeiska länderna. Det analyserade systemet omfattar brytning av nickelmalm i dagbrott eller underjordsgruva, malmbehandling, primärutvinning på hydrometallurgisk eller pyrometallurgisk väg samt slutlig raffinering till nickel klass 1.

Framställning av de rostfria stålen SS2377 och SS2352 från jungfruliga råvaror beskrivs som en ren blandningsprocess av låglegerat stål från järnmalm, ferrokrom och nickel, d.v.s. miljöpåverkan för tillverkningen av dessa stål utgörs av bidragen från de ingående legeringsmetallerna, viktade efter deras halt i det färdiga stålet.

För att beskriva skrotsmältning av såväl låglegerat som rostfritt stål har vi använt data från en livscykelanalys av framställning av valsade profiler från stålskrot via omsmältning i en elektrisk ljusbågsugn. Analysen bygger enligt uppgift på data från fyra fabriker i Europa, Japan och Nordamerika. Vid beräkningen av den sammanlagda miljöpåverkan för framställning av konstruktionsstålet i scenariet Bruk A (skrotbaserat stål så långt

möjligt) antar vi att allt stål, som inte korroderat bort, används för att tillverka nytt konstruktionsstål med samma sammansättning som det ursprungliga, och att utbytet är ca. 90 % vid omsmältningen. Den mängd stål som så erhålls används för nytillverkning av massakokare (slutet kretslopp). Den mängd stål som fattas, antages komma från jungfruligt stål. Miljöpåverkan för framställning av det jungfruliga stålet beräknas enligt ovan.

Scenariet Bruk B (100 % jungfruligt stål) har vi behandlat som ett öppet kretslopp med avskärning efter omsmältning av stålskrot, dvs, vi allokerar hela miljöpåverkan för framställning av jungfruligt stål samt miljöpåverkan för omsmältning av fallande stålskrot till massakokarna.

### 5.3.5 Dataluckor

För framställning av molybden och mangan finns inga data. Miljöpåverkan från framställningen av dessa legeringsmetaller har utelämnats.

Legeringsprocesserna beskrivs som rena blandningsförlopp utan resursförbrukning eller miljöpåverkan.

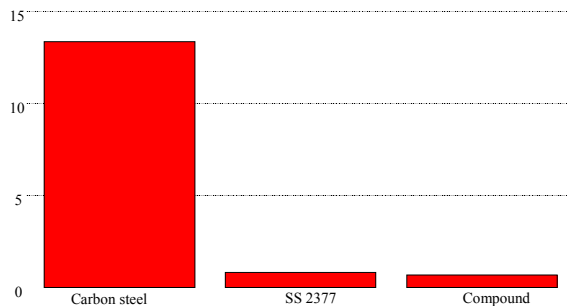
### 5.3.6 Resultat

#### 5.3.6.1 Förbrukning av icke-förnybar energi

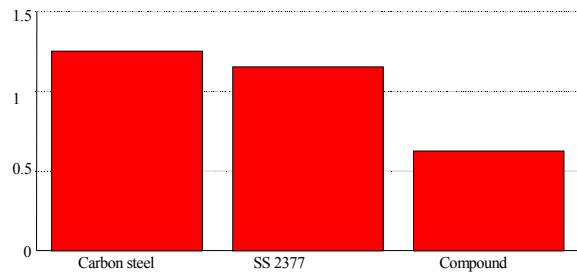
Med icke-förnybar energi förstås fossil energi (stenkol, brunkol, mineralolja, naturgas, torv) samt kärnkraft. Vi redovisar i denna studie endast den sammanlagda förbrukningen av dessa energislag som ett mått på respektive kokares förbrukning av energiresurser. Eftersom bakgrundsdata är så generella, är en närmare specificering inte meningsfull.

I Figur 2a och Figur 2b redovisar vi förbrukningen av icke-förnybar energi för de tre kokartyperna på de två bruken.

Den avgörande skillnaden mellan bruk A och B är den relativt sett korta livslängden hos kokarna av låglegerat stål jämfört med de rostfria kokarna på bruk A. Kokarna av låglegerat stål har tio gånger kortare livslängd än de rostfria kokarna. På bruk B har kokarna av låglegerat stål en livslängd som är drygt hälften av de rostfria kokarnas. Det är tillräckligt för att energiförbrukningen, räknad per ton producerad massa, för stålhanteringen skall bli i stort sett lika för låglegerat stål och massivt rostfritt stål, då kokarna tillverkas av jungfruliga råvaror (jämför Carbon steel och SS2377 i figur 2b). Lågst energiförbrukning får man i samtliga fall för compoundstål, eftersom det huvudsakligen består av låglegerat stål men har lika lång livslängd som massivt rostfritt stål. Stålförbrukningen per ton massa bestäms huvudsakligen av kokarnas kapacitet och livslängd. Korrosionsförlusterna har endast ett marginellt inflytande.



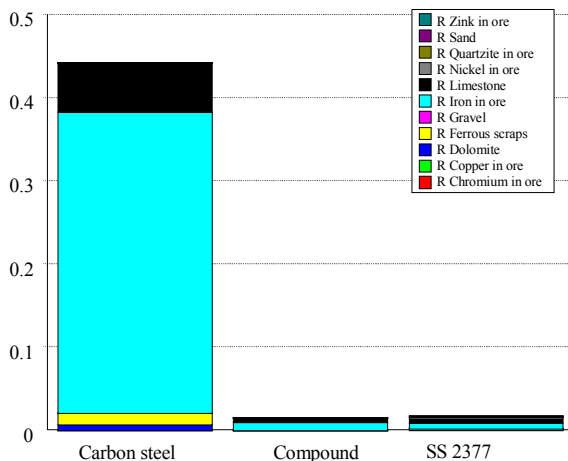
Figur 2a Förbrukning av icke-förnybara energivaror för nyttillverkning och skrotning av massakokare på bruk A, MJ/ton producerad massa. Kokarna tillverkas av skrotbaserat stål plus en mindre mängd jungfruligt stål.



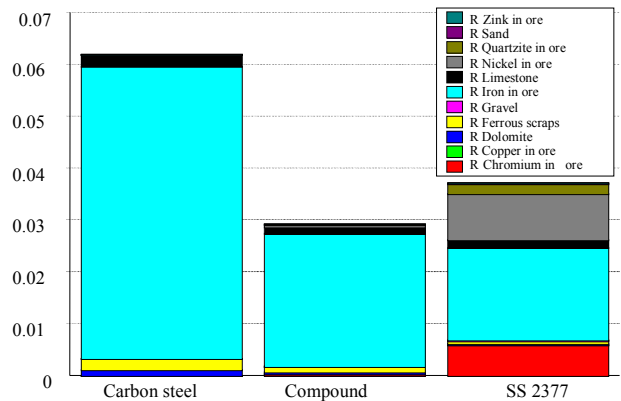
Figur 2b. Förbrukning av icke-förnybara energivaror för nyttillverkning och skrotning av massakokare på bruk B, MJ/ton producerad massa. Kokarna tillverkas av jungfruligt stål.

### 5.3.6.2 Resursuttag exklusive energivaror

Figur 3a och 3b visar uttag av andra råvaror än energivaror för stålhanteringen, relaterat till mängden producerad massa. Figurerna ger i princip samma budskap som Figur 2a och 2b ovan.



Figur 3 a. Resursuttag exklusive energivaror för nyttillverkning och skrotning av massakokare på bruk A, kg/ton producerad massa. Kokarna tillverkas av skrotbaserat stål plus en mindre mängd jungfruligt stål.

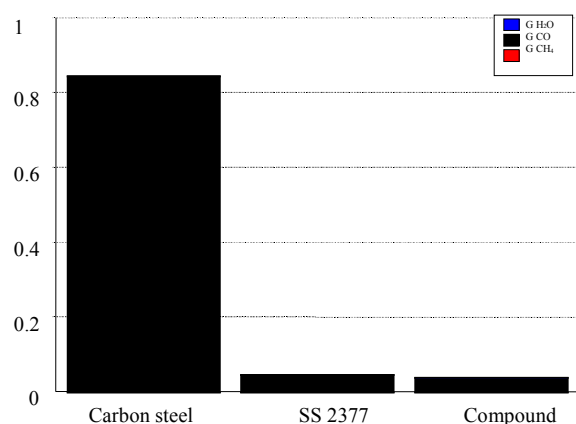


Figur 3b. Resursuttag exklusive energivaror för nyttillverkning och skrotning av massakokare på bruk B, kg/ton producerad massa. Kokarna tillverkas av jungfruligt stål.

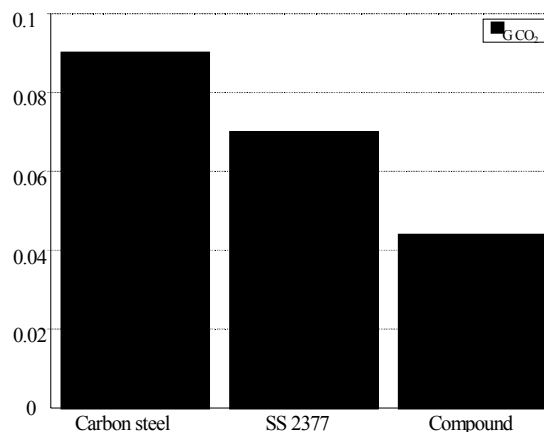


### 5.3.6.3 Emissioner av växthusgaser

Figur 4a visar emissionerna av de tre viktigaste växthusgaserna från stålhanteringen på bruk A, sammanräknade som koldioxidekvivalenter. Den totalt dominerande växthusgasen är koldioxid. Bidragen från metan och kväve(I)oxid (lustgas) är försumbara. För bruk B visar vi därför endast koldioxidemissionerna från stålhanteringen som ett mått på växthusgaseffekten (Figur 4b).



Figur 4a. Emission av växthusgaser från nytillverkning och skrotning av massakokare på bruk A, kg koldioxidekvivalenter/ton producerad massa. Kokarna tillverkas av skrotbaserat stål plus en mindre mängd jungfruligt stål.



Figur 4b. Emission av koldioxid från nytillverkning och skrotning av massakokare på bruk B, kg koldioxid/ton producerad massa. Kokarna tillverkas av jungfruligt stål.

Som man ser vid en jämförelse av Figur 2 och Figur 4, så uppvisar växthusgasemissionerna samma mönster som förbrukningen av icke-förnybara energiresurser. Detta är vad man kan vänta sig, om energianvändningen domineras av fossila energivaror.

### 5.3.6.4 Emissioner av försurande ämnen

Figur 5a och 5b åskådliggör emissionerna av försurande ämnen från stålhanteringen på bruk A och B.

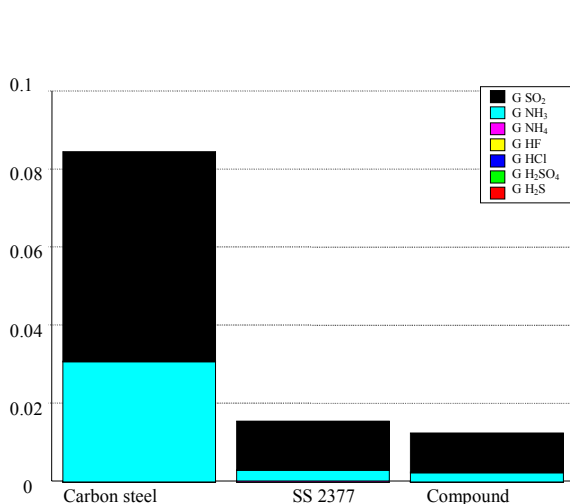
De dominerande ämnena bland de emissioner som har en försurande effekt är svavel-dioxid och kväveoxider (NO<sub>x</sub>). Figurerna visar, att en ökning av den relativa livslängden hos kokarna av låglegerat stål från 10 % till 60 % av livslängden hos de rostfria kokarna leder till en omkastning av den relativa miljöpåverkan. På bruk A domineras de försurande utsläppen för stålhanteringen av emissioner från omsmältning av låglegerat

stål till nytt stål. Den näst största källan är tillverkning av låglegerat stål från jungfruliga råvaror.

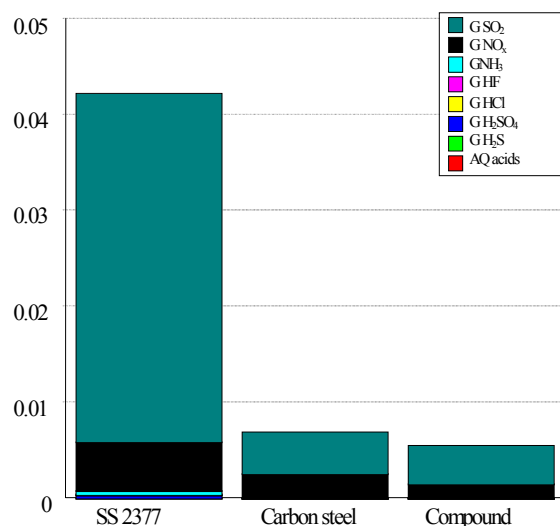
På bruk B är nytillverkningen från jungfruliga råvaror av rostfritt stål för den massiva kokaren den dominerande emittenten av försurande ämnen från stålhanteringen. Den dominerande källan är nickelframställningen, som ger upphov till höga utsläpp av svaveldioxid.

Ovanstående resultat beror kraftigt på antagandet att kokarna på bruk A till stor del tillverkas av skrotbaserat stål. I ett scenario, där kokarna helt nytillverkas av stål från jungfruliga råvaror försvinner det låglegerade stålets relativa nackdel vad avser emissioner av försurande ämnen. Låglegerat stål och massivt rostfritt stål skulle ha ungefär lika stora emissioner av försurande ämnen räknat per ton producerad massa.

Lägst emissioner för stålhanteringen har föga överraskande kokarna av compoundstål.



Figur 5a. Emission av försurande ämnen från nytillverkning och skrotning av massakokare på bruk A, mol vätejoner/ton producerad massa. Kokarna tillverkas av skrotbaserat stål plus en mindre mängd jungfruligt stål.



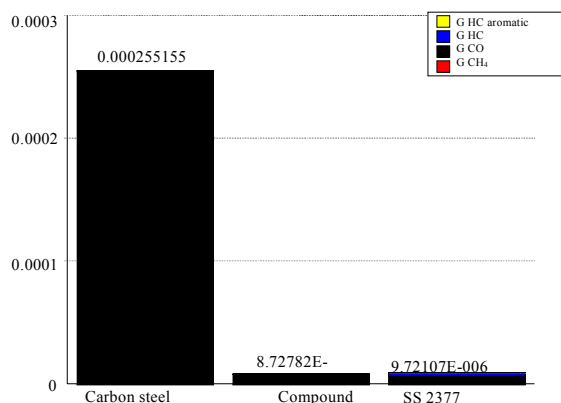
Figur 5b. Emissioner av försurande ämnen från nytillverkning och skrotning av massakokare på bruk B, mol vätejoner/ton producerad massa. Kokarna tillverkas av jungfruligt stål.

### 5.3.6.5 Emissioner som ger upphov till marknära ozon

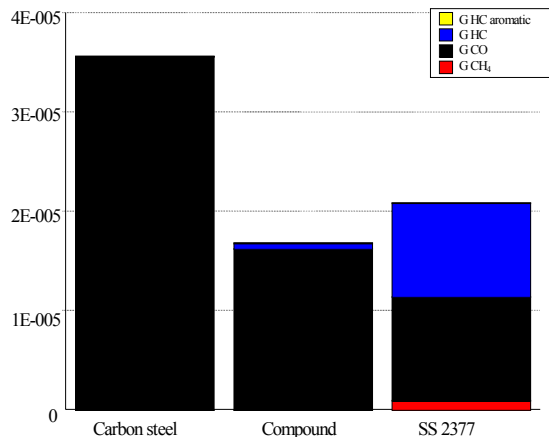
I Figur 6a och 6b visas emissioner från stålhanteringen av ämnen, som i närvaro av kväveoxider kan ge upphov till marknära ozon. I vårt system är det huvudsakligen koloxid och kolväten. Mängderna har räknats om till kg etenekvivalenter.

Den dominerande ozonbildande emittenten är enligt de data vi har koloxid från nytillverkning av låglegerat stål från jungfruliga råvaror. Denna effekt gör att kokarna av

låglegerat stål ger den högsta belastningen m.a.p. marknära ozon från stålhanteringen på båda bruken.



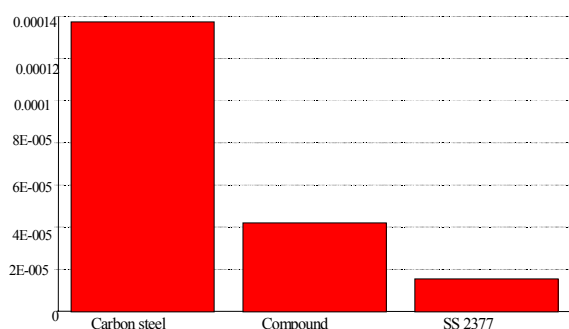
Figur 6a. Emission av ämnen, som ger upphov till marknära ozon, från nytillverkning och skrotning av massakokare på bruk A, kg etenekvivalenter/ton producerad massa. Kokarna tillverkas av skrotbaserat stål plus en mindre mängd jungfruligt stål.



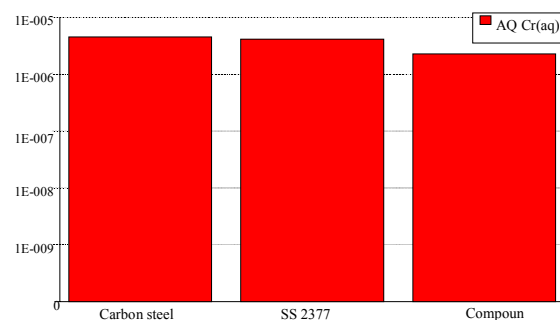
Figur 6b. Emission av ämnen, som ger upphov till marknära ozon, från nytillverkning och skrotning av massakokare på bruk B, kg etenekvivalenter/ton producerad massa. Kokarna tillverkas av jungfruligt stål.

### 5.3.6.6 Emissioner av krom till vatten

I emissioner av krom till vatten inkluderar vi även krom i material, som rostas bort från kokarnas innervägar under användning och alltså hamnar i utgående pappersmassa. Kromemissioner till vatten från stålhanteringen på de båda bruken visas i Figur 7a och 7b.



Figur 7a. Emission av krom till vatten, inklusive krom till pappersmassan, från nytillverkning och skrotning av massakokare på bruk A, kg krom/ton producerad massa. Kokarna tillverkas av skrotbaserat stål plus en mindre mängd jungfruligt stål.



Figur 7b. Emission av krom till vatten, inklusive krom till pappersmassan, från nytillverkning och skrotning av massakokare på bruk B, kg krom/ton producerad massa. Kokarna tillverkas av jungfruligt stål.

Den dominerande källan för emission av krom till vatten är just korrosion i kokarna, enligt de data vi har använt. Även låglegerat stål innehåller små halter krom. Den högre korrosionshastigheten för låglegerat stål leder till att kokarna av låglegerat stål har kromemissioner till vatten, som är lika stora som eller större än motsvarande emission från de rostfria kokarna.

## **5.4 Sociala och etiska aspekter på olika materialval**

För svenskt vidkommande finns en definition av social betydelse för en bransch beskriven implicit i en proposition, Ds 2001:63, skriven av näringsdepartementet.

Här delar man in den sociala betydelsen för en bransch, t ex gruvindustrin, i en yttre del, vilket avser betydelsen för sysselsättningen direkt och indirekt samt i en inre del, där arbetsmiljön inom branschen avses. Med ett bidrag till en positivt hållbar social utveckling menas då här ett ökat antal arbetstillfällen och en förbättrad arbetsmiljö.

Med etiska aspekter vid en produktion kan man förutom arbetsmiljön även tänka sig att innefatta övriga arbetsvillkor såsom arbetstider, demokratiskt inflytande, lön, minimi-ålder på arbetstagare och även företagets åtaganden för positiva förändringar i samhällsutvecklingen i övrigt i en socialt hållbar utveckling.

Ett första steg vid en inventering av en produkts sociala och etiska aspekter har här varit att tillverkningen av produkten delats in i olika steg. För dessa steg kan arbetstiden per viktsenhet produkt beräknas, därefter kan arbetstiden uppdelad på olika arbetsmoment per funktionell enhet beräknas.

Ur sådan information bör man kunna få ett mått på en produkts betydelse för sysselsättningen. Genom att använda arbetskadestatistik och statistik på andra etiska och sociala aspekter vid produktionen bör nu även den inre delen av de sociala aspekterna kunna beräknas.

Vid IVL har Arbetsmiljö LCA utvecklats som en kvantitativ metod, där bl a antalet arbetsskador och förlorade arbetsdagar relateras till en funktionell enhet. Denna metod skulle kunna utvidgas till att även innefatta andra etiska och sociala aspekter. Här har endast arbetstiden för att framställa en massakokare beaktats.

### **5.4.1 Inventering av de olika arbetsmomenten vid tillverkning av kokare i låglegerat stål**

Vid tillverkning av låglegerat stål antas nedanstående moment ingå. Data har tagits från några leverantörer som är representativa för svenska förhållanden.

### 5.4.2 Brytning av malm

Svenska data från LKAB har här använts. På LKAB finns ca 3200 anställda i hela företaget (år 1999). Av dem jobbar cirka 2000 personer i Kiruna/Svappavaara och cirka 1000 i Malmberget.

Resterande arbetar i Luleå, Narvik samt försäljningskontoren i Essen, Bryssel och Singapore.

Av de ca 2000 anställda i Kiruna arbetar ca 1600 med järnmalmsverksamheten. 650 personer arbetar under jord medan majoriteten (60 procent) arbetar ovan jord i exempelvis malmförädlingsverk, verkstäder och kontor.

I Malmberget arbetar cirka 1000 personer. Av dem arbetar cirka hälften (500) i gruvan. Resten har sina jobb ovan jord. Nedan visas produktionen och antalet anställda under 1997-99

	1997	1998	1999
Antal anställda	3304	3372	3248
Produktion järnmalm, Mton	21,9	20,9	18,9
Produktion per anställd, ton	6630	6200	5820

Här används data från år 1999.

### 5.4.3 Tillverkning av valsad stålplåt

Svenska data från SSAB har här använts.

	1999	2000
Antal anställda	9529	9831
Produktion råstål, kton	3398	3411
Produktion per anställd, ton	357	347

Råstålet förädlas vidare inom SSAB till varmvalsad och kallvalsad tunnplåt, en viss andel av den varmvalsade tunnplåten galvaniseras. Vi använder data från år 2000.

Av totalt anställda vid SSAB har 50 % antagits jobba med tillverkning av råstål eller tillverkning av valsad plåt.

#### 5.4.4 Svetsning av stålet till ett tryckkärl (massakokaren)

Information har erhållits från Mexor AB, Skelleftehamn, som tillverkar tryckkärl i både låglegerat stål och rostfritt. När det gäller Duplex, som har den längsta svets tiden, gäller tumregeln att man behöver cirka 1-2 timmar per meter skarv. Detta gäller för ett material med 30-35 mm tjocklek. På verkstad kan motsvarande arbete göras fortare, typiskt 5-7 meter/timme. Därefter tillkommer arbetet för slipning.

Man försöker ha bra ventilation. Bra ventilation sades även vara möjlig att ha vid montage på byggen.

För ett 65 mm tjockt låglegerat stål (se avsnitt 5.1) antas 2 timmar per meter skarv behövas. Plåten är 3 meter bred och där behövs för en 50 meter hög kolonn cirka 17 svetskarvar, dessutom tillkommer ca 2 vertikala skarvar per segment. Detta gör att en kokare med totala vikten 404 ton, 50 m hög och diametern 5 m (Bruk B) kräver ca  $17 \cdot 22 = 374$  meter svetskarv eller i arbetstid ca 750 timmar. Tiden för efterslipning uppskattas till 250 timmar.

Detta innebär 1000 arbetstimmar, motsvarande 0,22 årsarbeten för en 404 ton tung kokare, eller 1840 ton svetsad massakokare (av denna typ) per årsarbete.

Det kan visas att samma arbetstid per svetsad ton massakokare gäller även för bruk A.

Arbetsmoment som ej tagits med är gruvdrift och transport av det kol som behövs vid tillverkning av råstålet från malmen. Ej heller har transporten av malm, stålämnen och stålplåt beaktats. Här har heller ej arbetsmomentet för underhåll beaktats. Dessutom har hänsyn endast tagits till själva svetsandet vid momentet svetsning, ej det arbete som krävs i form av administration, planering, design, resor med mera.

#### 5.4.5 Arbetstid för olika delmoment vid tillverkning av massakokare i låglegerat stål

Årsarbete per 1000 ton stål

Brytning av järnmalm	Tillverkning av tunnplåt	Svetsning av massakokare	Transport, kolbrytning, underhåll, design och planering	Totalt med reservation för ej undersökta moment
0,17	2,88	0,54	Ej undersökt	3,6

#### **5.4.6 Inventering av de olika arbetsmomenten vid tillverkning av kokare i rostfritt stål**

Vid tillverkning av rostfritt stål antas följande moment ingå.

Brytning av ferrokrommalm, tillverkning av valsad rostfri stålplåt, svetsning av stålet till ett tryckkärl (massakokaren)

##### Brytning av ferrokrom- och kromitmalm

I Sverige tillverkas allt rostfritt stål från skrotbaserad råvara med en tillsats av ca 10 % jungfrulig råvara.

Vid produktion av rostfritt stål användes vid svenska stålverk 65 000 ton nyproducerad krom för tillverkning av cirka 600 000 ton rostfritt stål, (Krom, nickel och molybden i samhälle och miljö, Eva Walterson Miljöforskargruppen januari 1999).

Detta ger per 1000 ton rostfritt stål en förbrukning av 108 ton ferrokrom. Resten av råvaran är skrotbaserat järn och stål samt nickel.

##### Ferrokrom.

50 % av all kromproduktion sker i Sydafrika

Tillverkad mängd ferrokrom per anställd har därför beräknats med hjälp av data från Samancor Chrome, Sydafrikas och världens största kromproducent. Antal anställda var år 2001 4194, kromit- och ferrokromproduktionen var totalt 4,1 Mton eller 978 ton per anställd och år, Information från BHP Billiton, (<http://www.samancor.co.za>).

#### **5.4.7 Tillverkning av valsad rostfri stålplåt**

Svenska data från Avesta Polarit har här använts. Avesta Polarit är världens näst största producent av rostfritt stål och har stålverk i Sverige, Finland och Storbritannien. År 2001 var antalet anställda inom koncernen 8 900. Total produktion var 1,75 Mton rostfritt, vilket motsvarar 197 ton per anställd och år.

#### **5.4.8 Svetsning av stålet till ett tryckkärl (massakokaren)**

Den information som används är från Mexor AB, Skelleftehamn. Arbetstiden per meter svetsad skarv antas, liksom i fallet med låglegerat stål, vara 2 timmar per meter skarv.

Då massakokarna för alternativen med rostfritt stål är tunnare, 50 mm istället för 65 mm, blir dock arbetstiden per ton svetsad massakokare något högre.

Detta innebär 1000 arbetstimmar, motsvarande 0,22 årsarbeten för en 306 ton tung kokare, eller 1390 ton svetsad massakokare (av denna typ) per årsarbete.

Arbetsmoment som ej tagits med är framställning av nickel. Ej heller har transporten av malm, stålämnen och stålplåt samt arbetsmomentet för underhåll beaktats. Dessutom har för momentet svetsning hänsyn endast tagits till själva svetsandet, ej det arbete som krävs i form av administration, planering, design, resor med mera.

### Arbets tid för olika delmoment vid tillverkning av rostfritt stål

Årsarbete per 1000 ton stål

Brytning och avferrokrom (108 ton)	Tillverkning av tunnplåt	Svetsning av massakokare	Transport, kolbrytning, underhåll, design och planering	Totalt med reservation för ej undersökta moment
0,11	5,07	0,72	Ej undersökt	5,9

### Årsarbete för produktion av massakokarna i relation till kokad mängd massa

Bruk A

	Låglegerat stål	Rostfritt
ton producerad massa/ton stål	1031	17010
Total arbetstid per 100 000 ton kokad massa	0,35	0,035

Bruk B

	Låglegerat stål	Rostfritt
ton producerad massa/ton stål	26955	59314
Total arbetstid per 100 000 ton kokad massa	0,013	0,0099

#### 5.4.9 Diskussion av etiska och sociala aspekter för de olika arbetsmomenten

Det dominerande arbetsmomentet är för både den låglegerade och för den rostfria kokaren arbetet vid stålverken. År 1988 var i Sverige antalet sysselsatta 32 000, vilket motsvarade drygt 4 % av totalt 730 000 sysselsatta inom tillverkningsindustrin inklusive gruvor. Antalet anställda har minskat kraftigt över tiden, 1975 var 70 000 personer verksamma inom järn och stålindustrin. Antalet olycksfall var 1999 27 per 1000 förvärvsarbetande. Detta är, relativt sett för svenska förhållanden, en hög siffra. Dock har antalet arbetsolyckor minskat över tiden. (Källa proposition Ds 2001:63 ) Antalet döds-



fall inom järn och stål industrin är i de nordiska länderna ca 4 per 100 000 förvärvs- arbetande.

Gruvbrytningen står för en mindre andel av den arbetstid som behövs för produktionen av en massakokare. I Sverige var 1998 drygt 5000 anställda inom gruvindustrin, antalet anställda var 1975 cirka 13 000. Antalet arbetsolycksfall har minskat med tiden och var 1998 29 arbetsolycksfall per år och 1000 anställda.

Även antalet dödsolyckor har minskat kraftigt med tiden. Baserat på antalet rapporterade dödsfall mellan 1990 och 2000 var antalet dödsfall 15 per 100 000 årsarbeten.

Vid produktionen av rostfritt stål behövs ferrochrom som bryts i bland annat Sydafrika. I Sydafrika har man en betydligt högre andel dödsolyckor. År 2000 var antalet dödsolyckor 72 per 100 000 årsarbeten, men antalet rapporterade fall minskar med tiden. Antalet rapporterade skador är cirka 12 per 1000 årsarbeten.

Vi har specialstuderat en hälso-, säkerhets- och miljörapport från BHP Billitom, (<http://www.samancor.co.za>), som till 60 % äger Samancor Chrome i Sydafrika. Samancor Chrome består av två gruvor och 5 integrerade kromlegeringsanläggningar, varav en, Palmiet Ferrochrome, är Sydafrikas första ferrochromproducent som erhållit ISO 9002 kvalitetscertifikat. Man har en hälsoplan där man försöker minimera påverkan av buller, damm och flyktiga kemikalier. De främsta ohälsosamma beståndsdelarna i damm och ångor är 6-värt krom och tjära. Man har utvecklat platsspecifika strategier för att minimera expositionen för 6-värt krom på de olika anläggningarna. Man arbetar också mycket med att minimera olyckor och har introducerat en ”ZeroTolerance-Target Zero” säkerhetskampanj, där man engagerar arbetarna i att rapportera ”near miss” incidenter och utvecklandet av nya säkerhets riktlinjer för kromsmältugnar. Man har ett speciellt åtgärdsprogram för att minska HIV/AIDS på företaget och i samhället. Samancor Chrome investerade cirka US\$200,000 på samhällsprojekt; hälsocentral och utbildningsverksamhet och en lokal elefantmarknad i närheten av Kruger nationalpark som gett 300 turistjobb.

Svetsningen ger ett stort bidrag till den totala arbetstiden som krävs för att färdigställa en massakokare.

Vi har ej specialstuderat olycksfallsstatistiken för denna yrkesgrupp. Däremot har vi tagit del av experimentella och epidemiologiska undersökningar med avseende på risken för cancer vid exponering för svetsrök. Djurexperimentella studier har visat att svetsrök kan ge lungcancer. Epidemiologiska studier tyder på en 30%-ig ökning av lungcancerfrekvensen hos svetsare. Blandexponering med asbest, nickel och sexvärt krom kan ha haft betydelse för antalet fall av lungcancer. Svetsrök är av denna anledning klassad i grupp 2B (IARC), d v s "substans som möjligen kan orsaka cancer hos människa". Eftersom det inte kan uteslutas att svetsrök är cancerframkallande måste svetsarbete utföras på samma skyddsnivå som ämnen med bevisad cancerogen effekt..

Vid svetsning i rostfritt bildas sexvärt krom och olika nickelföreningar. Både sexvärt krom och vissa nickelföreningar (bland annat nickeloxid) är cancerframkallande (AFS 2000:3, Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar). Man kan därför förvänta sig att svetsning i rostfritt skulle öka risken för cancer. Någon ökad frekvens av cancer vid svetsning i rostfritt jämfört med låglegerat stål har dock inte kunnat påvisas. I en översiktsartikel om hälsoeffekterna för rostfritt stål utgiven av Eurofer (European Confederation of Iron and Steel Industries) 1999 står följande ; "A meta-analysis of lung cancer in Welders (Moulin 1997) conclude that the elevated lung cancer rates in welders "cannot be explained by hexavalent chromium and nickel exposures among stainless steel welders". Hexavalent krom är mycket reaktivt. Vid höga exponeringar kan frätskador uppstå i främst de övre luftvägarna. Bland arbetare med långvarig och hög exponering finns det fall där t o m skiljeväggen i näsan till stor del blivit bortfrätt. Både sexvärt krom och nickel är sensibiliserande, vilket är ytterligare ett skäl till att minimera exponeringen vid svetsning i rostfritt stål.

## 6 Fallstudie vämeöverföringsrör i panna

I en avfallsförbränningsanläggning har man mycket korrosiva förhållanden. Man har därför ersatt vanliga låglegerade stålrör för värmeutvinning med speciella rör utvändigt belagda med en krom nickel legering, Sanicro 28, i den zon med högst korrosion, den s.k. överhettaren.

I nedanstående Tabell 4 redovisas beräknade kostnader med vanliga låglegerade stålrör och då man använder Sanicro 28 rör.

Tabell 4 Kostnader och livslängd för konventionella rör jämfört med compoundrör, Sanicro 28, med en rostfri legering utvändigt

	Låglegerat stålrör	Sanicro 28 rör
Beräknad livslängd för rören	2 år	8,5 år
Kostnad per utvunnen kWh energi	0,11 SEK	0,04 SEK

Kostnaden relateras här till den energi som uppskattas produceras i överhettaren. I kostnadskalkylen har installationskostnaden, kostnaden för rören samt stilleståndskostnaden vid driftsstopp beaktats.

## 7 Ecoefficiency för fallet massakokare

### 7.1 Ecoefficiency -begreppet

Ecoefficiency utvecklades av World Business Council for Sustainable Development 1992 och är nu väl etablerat bland företag världen över. Företagsincitament att använda sig av konceptet är viljan att uppnå ett högre värde men med mindre konsekvenser för miljön. Konceptet är ett nyckeltal för att mäta ekonomisk framgång i relation till miljöpåverkan och koordinerar ekonomiska och ekologiska aspekter.

Produktvärde eller försäljningsvärde ställs i relation till påverkan på miljö:

$$\frac{\text{Värde på produkt eller service}}{\text{Påverkan på miljö}}$$

Värde på produkt eller service är t.ex.

- tillverkad eller såld kvantitet av en vara eller service, dvs det är det fysiska måttet på en tillverkad produkt eller service som har levererats eller sålts till kund.
- nettoförsäljning, dvs total försäljning minus försäljningsrabatter och returer.

Påverkan på miljön är t.ex.:

- energiåtgång
- materialåtgång
- vattenkonsumtion
- utsläpp av växthusgaser
- utsläpp av ozonförstörande gaser
- totalt avfall

Ett exempel på ett ecoefficiency-mått kan vara:

Antal sålda produkter i relation till

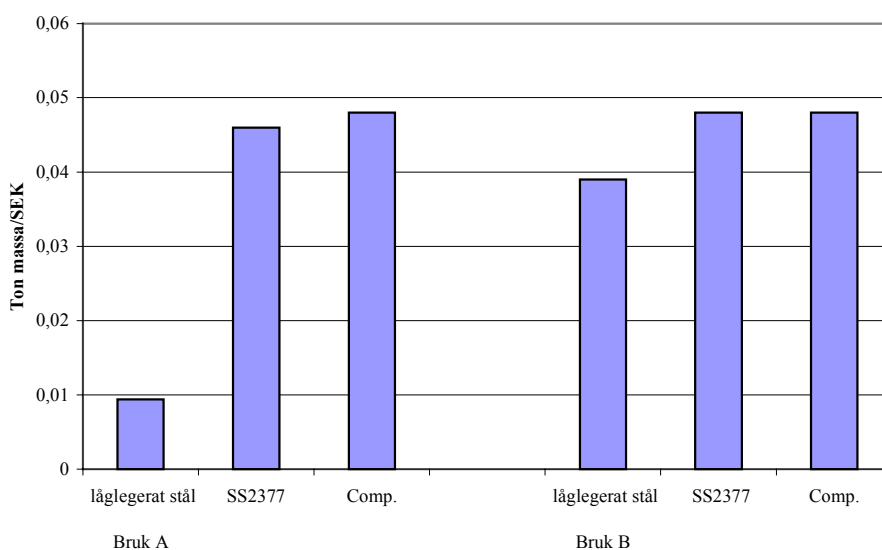
energikonsumtion	= 6 kg per gigajoule
materialåtgång	= 67 kg per ton material

Den jämförande analysen i denna studie baseras på olika stålmaterial och hur utsläpp och resursåtgång varierar mellan de tre olika materialvalen. Stålmaterialen används i massakokare och den funktionella enhet som vi använder i ecoefficiency termer dvs "värdet på produkt eller service" är ton producerad sulfatmassa.

## 7.2 Ecoefficiency och ekonomisk kostnad för undersökta massakokare

Tabell 5 Antalet ton massa som varje investerad krona i en massakokare genererar under olika förutsättningar, 4 % kalkylränta för investeringen har antagits.

Kostnad för massakokaren ton massa/SEK	Bruk A			Bruk B		
	läglegerat stål	SS2377	Comp.	läglegerat stål	SS2377	Comp.
	0,0094	0,046	0,048	0,039	0,048	0,048

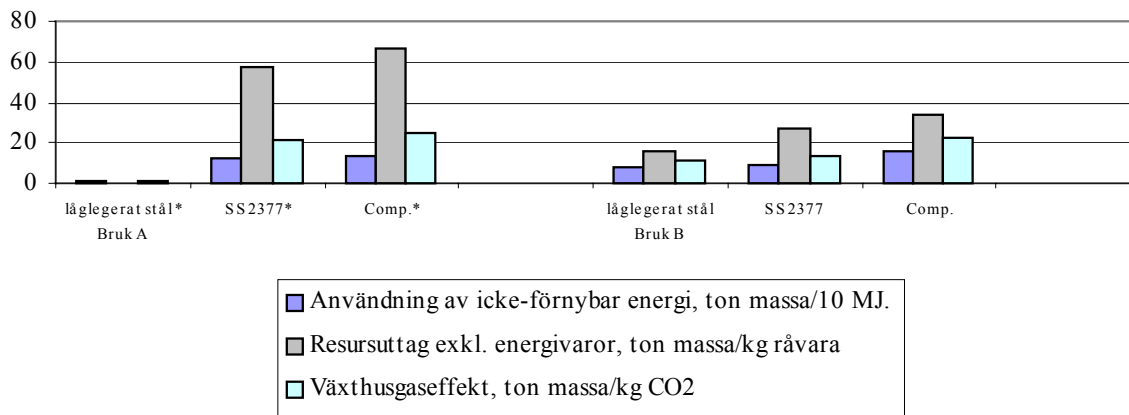


Figur 8 Kostnad för massakokaren

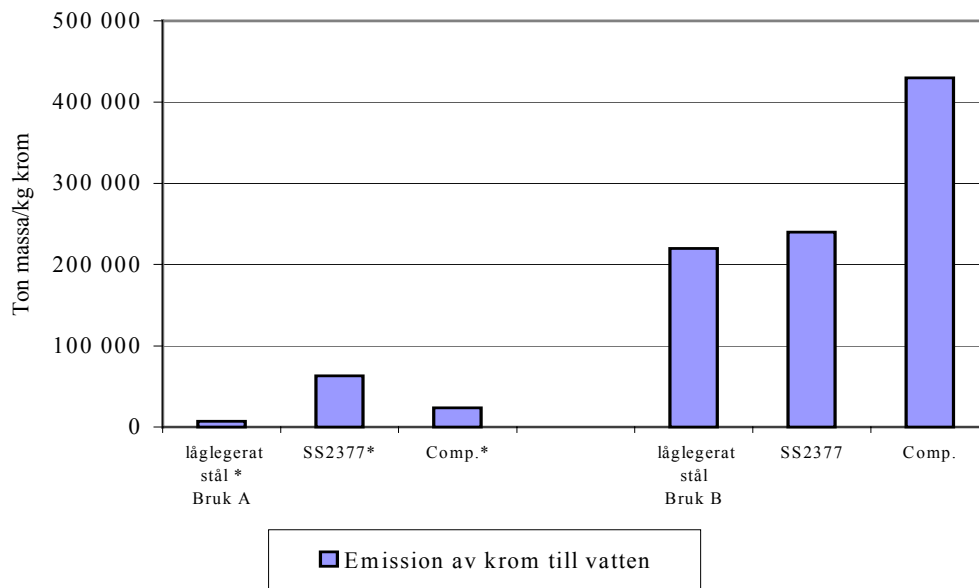
Tabell 6 Ekoeffektivitetsmått för några miljöpåverkanskategorier, uttryckt som ton massa, som kan produceras per enhet av resp. miljöeffekt.

Påverkanskategori	Bruk A			Bruk B		
	Låglegerat stål *	SS2377*	Comp. *	Låglegerat stål	SS2377	Comp.
Användning av icke-förnybar energi, ton massa/ 10 MJ	0,75	12	14	8,0	8,6	16
Resursuttag exkl. energivaror ton massa/kg råvara	0,44	58	66	16	27	34
Växthusgaseffekt, ton massa/kg CO <sub>2</sub>	1,2	21	25	11	14	23
Emission av krom till vatten, ton massa/kg krom	7 300	63 000	24 000	220 000	240 000	430 000

\*Vid jämförelse mellan de olika fallen bör man ha i minne att miljö effekterna för bruk A beräknats utgående från att endast mindre mängd jungfruliga råvaror antagits behöva användas (motsvarande förlusterna vid ett tänkt återvinningsscenario).



Figur 9. Ekoeffektiviteten för energi, resursuttag samt koldioxidproduktionen för massakokaren

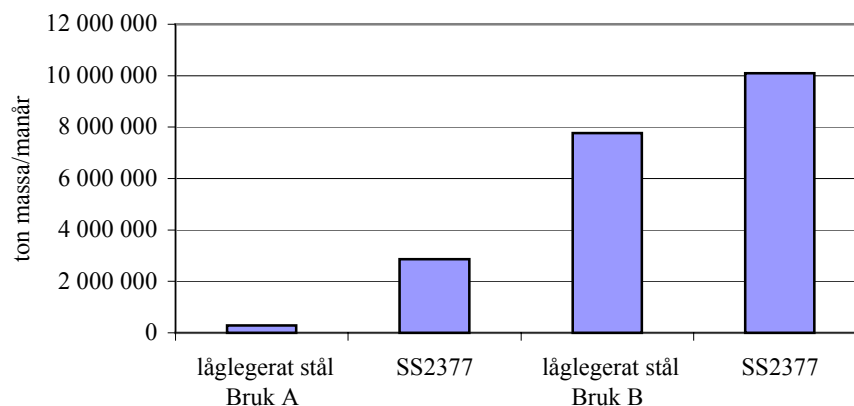


Figur 10. Antalet ton massa /kg krom

Även arbetstiden kan nu beskrivas på ett liknande sätt.

Tabell 7 Antalet ton massa som kan produceras per arbetstid som krävs för produktionen av massakokaren

Arbetstid för produktionen av massakokaren ton massa/manår	Bruk A		Bruk B	
	läglegerat stål	SS2377	läglegerat stål	SS2377
	286 000	2,86 M	7,70 M	10,1 M



Figur 11 Antalet ton massa som kan produceras per manår

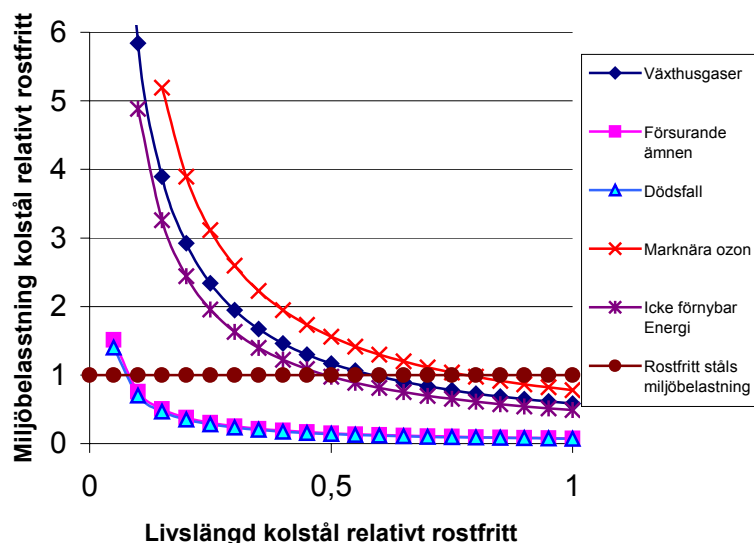
## 8 Konsekvenserna vid en substitution av rostfritt stål med låglegerat stål

Utgående från de undersökta stålen, SS2377 och ett låglegerat stål ( 0,1% krom ) kan man nu även relatera miljöbelastningen till stålen samt till den livslängd de förväntas ha. I nedanstående Figur 12 visas den relativa miljöbelastningen för det undersökta låglegerade stålet relativt det undersökta rostfria stålet vid olika livslängd för det låglegerade stålet. Det rostfria stålet antas ha en livslängd på 50 år.

Vid jämförelsen antas samma totala mängd av de båda stålen föreligga och båda produkterna antas vara tillverkade av jungfruligt material.

Man ser här ganska tydligt att det behövs en mycket högre livslängd hos det rostfria stålet för att försurande ämnen skall vara lägre för dessa alternativ. För övriga undersökta effekter såsom växthusgaser, energiförbrukning och marknära ozon är rostfritt stål fördelaktigt vid en ökning av livslängden gentemot låglegerat stål med mellan 2 till 3 ggr (låglegerat stål antas då ha en livslängd på 15-25 år).

Ett scenario kan nu göras för vad effekten av en substitution av rostfritt stål skulle bli i hela samhället. Miljöbelastningen för tillverkning av de 50 000 ton rostfritt stål som idag konsumeras per år i Sverige motsvarar en CO<sub>2</sub>-belastning på i storleksordningen 3,8 kg/kg rostfritt stål och för ett låglegerat stål ca 2,2 kg CO<sub>2</sub> per kg stål, (här förutsätts jungfruliga råvaror användas). Beroende på livslängden på det låglegerade stål som skall ersätta det rostfria stålet så får man nu en CO<sub>2</sub>-belastning som kan öka, förutsättningen för en ökning är den att det låglegerade stålet antas hålla betydligt kortare tid.



Figur 12 Relativ miljöbelastning för kolstål i jämförelse med rostfritt stål för olika miljökategorierna vid olika livslängd på det låglegerade stålet

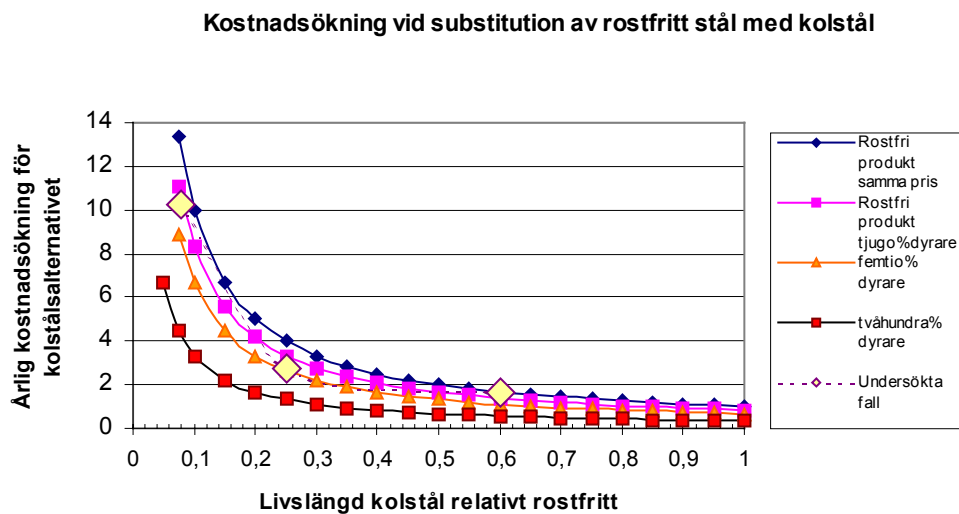
Om det låglegerade stålets livslängd till exempel antas vara 30 % i snitt så skulle detta medföra en ökad CO<sub>2</sub>-belastning på 180 000 ton CO<sub>2</sub>, vilket ej är en försumbar andel av Sveriges totala utsläpp (ca 75 miljoner ton). Det bör påpekas att denna beräkning ej tar hänsyn till att en substitution i många fall kan göras med material med en ytbeläggning, t ex. zink, vilka också har en relativt god korrosionsbeständighet. Dessa material ger dock i sin tur upphov till andra miljökonsekvenser som också måste beaktas. I vissa fall, som t ex för massakokarna är det svårt att hitta substitut, (förutom tunnare lager av det rostfria stålet självt!).

En ekonomisk jämförelse mellan de två alternativen har tagits fram som en funktion av den relativa livslängden för låglegerade stålprodukter gentemot rostfria alternativ. Kostnadsjämförelsen har gjorts vid olika antagna ökning av investeringskostnaden (0, 20, 50 respektive 200 % ökning) för de rostfria alternativen.

I Figur 13 är även de här undersökta fallen, Massa bruk A, Värmepansrör, samt Massa bruk B inlagda i figuren.

Ökningen av investeringskostnaden för de här undersökta rostfria alternativen ligger mellan 0 och 50 % för de rostfria stålprodukterna. Som syns i Figur 13 så kan den ekonomiska nyttan, räknat på en årskostnad, med att använda rostfritt stål vara betydande redan vid måttliga förbättringar av livslängden, detta beror på att kostnadsökningen för den rostfria produkten endast till mindre del bestäms av materialvalet.

Ingen hänsyn har här tagits till ränta för insatt kapital.



Figur 13. Kostnadsförändring vid användande av kolstål i produkter beroende av relativ livslängd och det rostfria alternativets relativa inköpspris.

## 9 Diskussion av resultaten

I Sverige konsumeras varje år produkter innehållande cirka 50 000 ton rostfritt stål.

Vad skulle miljökonsekvensen bli om allt rostfritt stål ersattes med låglegerat stål?

I exemplet med massakokarna är rostfritt stål fördelaktigt för flertalet miljöaspekter, i det fall där man har en starkt ökad livslängd (fall A).

I det fall livslängden endast ökar med cirka 50 % (fall B) är det ingen klar fördel med att använda rostfritt stål. Det är dock fortfarande ekonomiskt fördelaktigt. Livslängden kan bestämmas av hållfasthetsaspekter, men även av hygieniska och estetiska aspekter. En rostig diskbänk kan t ex både vara otrevlig ur hygienisk och estetisk synpunkt.

Det undersökta compoundalternativet visar på en kombination av både lång livslängd och låg miljöpåverkan. Den enda uppenbara nackdelen uppkommer när materialen skall återvinnas, vilket kompliceras av att flera material ingår.

Andra vägar att minska miljö- och arbetsmiljöbelastningen för rostfritt stål kan vara att välja råvaror och produktionsmetoder med så bra miljöprofil som möjligt. Detta kan t ex innebära att nickel väljs från fyndigheter med låg svavelhalt, eller från anrikningsverk med god svaveldioxidrening. Det kan också innebära att man aktivt arbetar för att förbättra anställningsvillkoren för de arbetare som jobbar med brytning av krommalm i tredje världen, eller att man minskar energiförbrukningen vid de svenska stålverken genom energieffektivisering.



Miljöpåverkan och indirekta skador orsakade vid tillverkningen av massakokaren är totalt sett en relativt liten del av den totala miljöpåverkan som uppkommer vid tillverkning av sulfatmassa.

Som en jämförelse kan t.ex. nämnas att det totala CO<sub>2</sub>-utsläppet vid tillverkning av ett ton sulfatmassa är ca 180 kg/ ton massa (svenska förhållanden). Den mängd CO<sub>2</sub> som indirekt uppkommer vid tillverkningen av massakokaren var enligt tidigare 0,8 kg per ton producerad massa i det värsta scenariot.

Även när det gäller arbetsskador kan man anta att det främst är arbetsskador uppkomna i skogsbruket, massa och pappersfabriken och tryckeriet som påverkar arbetsskadorna. Bidraget från tillverkningen av massakokaren är här ytterst marginellt.

I andra fall, som t ex värmväxlare, så står materialet, t ex rostfritt stål, för huvuddelen av miljöpåverkan vid produktionen av nyttigheten, i detta fall återvunnen värme. I kostnadsjämförelsen för avfallsförbränning är det en klar ekonomisk fördel då ett låglegerat stålrör beläggs med en korrosionskyddande beläggning av en krom/nickel legering. Detta gäller under förutsättning att man har hög korrosion, och denna typ av rör används främst i de zoner i en panna som håller höga temperaturer och tryck.

## 10 Slutsatser

En substitution av rostfritt stål med låglegerat stål kan få såväl ekonomiskt som miljömässigt ogynnsamma konsekvenser. Detta kan även uttryckas mer generellt:

*Att ensidigt titta på en inneboende egenskap, såsom toxicitet, hos ett material kan leda till åtgärder, som inte är optimala ur miljösynpunkt eller socioekonomisk synpunkt.*

## 11 Planerat fortsatt arbete

I ett fortsatt arbete avser vi utveckla metoden för att kunna sammanväga olika miljöpåverkanskategorier med arbetsrelaterade skador och ekonomiska konsekvenser.

Ett flertal metoder för en sådan viktning finns föreslagna i litteraturen, såsom EPS metoden, Ekoknapphetsmetoden med fler.

Vi ser en fara i att enbart sammanväga alla faktorer i ett enda viktningstal och förordar en metod där de olika miljöpåverkanskategorierna är väl synliggjorda.

En metod för att ur sådan aggregerad information om olika miljöpåverkanskategorier göra en **multikriteriebedömning** kommer att utvecklas i ett angränsande IVL projekt.

Man kan nu försöka att träffa sådana val vid en ekologisk produktdesign som på samtliga punkter överträffar alternativen ur miljö- och arbetsmiljösynpunkt utan att kostnaden för produkten påverkas i alltför hög grad.

Ett led i att skapa en marknad för miljövänliga produkter kan just vara att öka acceptansen för en viss kostnadsökning på grund av att "grönare" produkter väljs.

Vid utvecklandet av produkter i ekologisk riktning eftersträvas konstruktioner som

- *består av material med låg miljöpåverkan,*
- *möjliggör en enkel nedmontering,*
- *har en lång livslängd,*
- *passar väl in i fungerande återanvändningssystem*
- *ger låga konstruktionsvikter.*

I det fortsatta arbetet vill vi också undersöka konsekvenserna (ekonomiska, miljömässiga och sociala) av att fasa ut rostfritt stål i samhället utgående från tre fallstudier. Lämpliga studieobjekt är utöver massakokarna, t ex värmeväxlare i rökgaskanaler och processutrustning för livsmedelsindustrin.

Även konsekvenserna för hushållssektorn är viktig att belysa. Husgeråd och hushållsmaskiner står för cirka 30 % av den totala användningen av rostfritt stål.

## 12 Referenslista

Proposition ds 2001:63 från näringsdepartementet

([http://www.naring.regeringen.se/propositioner\\_mm/pdf/ds2001\\_63.pdf](http://www.naring.regeringen.se/propositioner_mm/pdf/ds2001_63.pdf), Ds 2001:63 ).

IVL B1320, Arbetsmiljö –LCA-vidareutveckling av en kvantitativ metod, Ann-Beth Antonsson och Malin Nilsson, 1999

Krom, Nickel och Molybden i samhälle och miljö, Eva Walterson, Miljöforskargruppen januari 1999

Information från BHP Billitom, (<http://www.samancor.co.za>).

IARC, The International Agency for Research on Cancer (IARC) is part of the World Health Organization <http://www.iarc.fr>

Information om svetsrök, Bengt Christensson, Arbetsmiljöavdelningen på IVL

Manufacture, Processing and use of stainless steel; a review of the health effects, HJ Cross et al, Institute of Occupational Health, Birmingham, 1999, Comissioned by Eurofer

Composite tubes in waste incineration boilers, Urban Forsberg, Anders Wilson, Mats Lundberg, Lars Nylöf ; Stainless Steel World 99 Conference, p 699-678

## Bilaga 1. Uppskattning av anläggningskapitalet.

Anläggningskapitalet är vanligen den dominerande delen av kapitalinsatsen. Flera metoder att uppskatta anläggningskapitalet finns beskrivna i litteraturen, ett exempel är den som sammanställts av K M Guthrie. Guthrie arbetar med ett antal modulkostnader, där var och en är sammansatt av anskaffningskostnader med procentuella påslag för omkringliggande arbetskostnader. Modulerna är olika och är sex till antalet. Dessa är

- processutrustning
- speciell processutrustning
- mark, markplanering
- byggnader
- vidstående utrustning
- indirekta kostnader

Vid Guthrie's metod, liksom vid de flesta andra beräkningsmetoder, är det anskaffningskostnaden för utrustningen som i första hand måste uppskattas. Övriga kostnader betraktas som tilläggs-kostnader och beräknas antingen var för sig eller uppskattas genom påslagsfaktorer.

Den slutliga kostnaden brukar i regel ligga mellan 240 -525 % av kostnaden för enbart apparater och maskiner. I vårt exempel har vi antagit ett påslag på 350 %.

\* Data and techniques for Capital Cost Estimating, K:M Guthrie, Chemical Engineering, march 25,1969

## IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL är ett oberoende och fristående forskningsinstitut som ägs av staten och näringslivet. Vi erbjuder en helhetssyn, objektivitet och tvärvetenskap för sammansatta miljöfrågor och är en trovärdig partner i miljöarbetet.

IVLs mål är att ta fram vetenskapligt baserade beslutsunderlag åt näringsliv och myndigheter i deras arbetet för ett bärkraftigt samhälle.

IVLs affärsidé är att genom forskning och uppdrag snabbt förse samhället med ny kunskap i arbetet för en bättre miljö.

### Forskning- och utvecklingsprojekt publiceras i

IVL Rapport: IVLs publikationsserie (B-serie)  
IVL Nyheter: Nyheter om pågående projekt på den nationella och internationella marknaden  
IVL Fakta: Referat av forskningsrapporter och projekt  
IVLs hemsida: [www.ivl.se](http://www.ivl.se)

Forskning och utveckling som publiceras utanför IVLs publikationsservice registreras i IVLs A-serie. Resultat redovisas även vid seminarier, föreläsningar och konferenser.



---

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

P.O.Box 210 60, SE-100 31 Stockholm  
Hälsingegatan 43, Stockholm  
Tel: +46 8 598 563 00  
Fax: +46 8 598 563 90

P.O.Box 470 86, SE-402 58 Göteborg  
Dagjämningsgatan 1, Göteborg  
Tel: +46 31 725 62 00  
Fax: +46 31 725 62 90

Aneboda, SE-360 30 Lammhult  
Aneboda, Lammhult  
Tel: +46 472 26 77 80  
Fax: +46 472 26 77 90

[www.ivl.se](http://www.ivl.se)