

Utredning om möjligheterna att minska utsläppen av fossil koldioxid från mineralindustrin

Håkan Stripple Catarina Sternhufvud Tina Skårman
B 1651
Oktober 2005

| | |
|---|--|
| Organisation IVL Svenska Miljöinstitutet AB | Rapportsammanfattning |
| Adress Box 5302 400 14 Göteborg | Projekttitel Utredning om möjligheterna att minska utsläppen av fossil koldioxid från mineralindustrin |
| Telefonnr 031-725 62 00 | Beställare till projektet Naturvårdsverket |
| Rapportförfattare Håkan Stripple, Catarina Sternhufvud, Tina Skärman | |
| Rapporttitel och undertitel Utredning om möjligheterna att minska utsläppen av fossil koldioxid från mineralindustrin | |
| Sammanfattning <p>IVL Svenska Miljöinstitutet har på uppdrag av Naturvårdsverket genomfört föreliggande studie rörande möjligheterna att reducera koldioxidemissionen i mineralindustrin. Uppdraget sammanhänger med den kommande tilldelningsplanen för utsläppsrätter av koldioxid inom Kyotoavtalets första åtagandeperiod, år 2008 till 2012. Uppdraget har genomförts i samarbete med den svenska mineralindustrin. Projektet omfattar i huvudsak tre olika delar.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. En beskrivning av befintliga produktionsprocesser och dess nuvarande status i Sverige. 2. Redovisning av tekniska möjligheter att reducera koldioxidemissioner inklusive redovisning av CO₂-emissioner och dess utveckling i industrin. 3. Ekonomiska beräkningar av olika reduktionsmöjligheter i syfte att beräkna reduktionskostnaden i t.ex. kr/ton reducerad CO₂. <p>Resultaten från projektet visar på små tekniska möjligheter att reducera CO₂ från mineralindustrin. Reduktionsmöjligheterna ligger i normalfallen under 5 %. Ekonomiska beräkningarna har genomförts för två nivåer på kalkylräntan, 6 % och 12 %, för att spegla både det samhällsekonomiska och det företagsekonomiska perspektivet. Beräkningarna har visat på stora variationer i åtgärdskostnader från -137 kr/ton reducerad CO₂ till 3326 kr/ton reducerad CO₂ vid en ränta på 6 %. De åtgärder som inkluderats i beräkningarna, är de där både kostnad och potential kunnat uppskattats. Dessa åtgärder har tillsammans en maximal reduktionspotential av ca 156 kton (ca 4,5 %). Ungefär hälften (51 %) av denna reduktion kan uppnås till en kostnad av 250 kr, vilket ungefär motsvarar kostnader för en utsläppsrättighet i dagsläget.</p> | |
| Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren mineralindustrin, kyotoprotokollet, miljömål, växthuseffekt, klimat, utsläppsrätter, koldioxid, reduktion, reduktionskostnad | |
| Bibliografiska uppgifter IVL Rapport B1651 | |
| Rapporten beställs via Hemsida: www.ivl.se, e-post: publicationservice@ivl.se, fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm | |

Förord

IVL Svenska Miljöinstitutet har på uppdrag av Naturvårdsverket genomfört föreliggande studie rörande möjligheterna att reducera koldioxidemissionen i mineralindustrin. Uppdraget sammanhänger med den kommande tilldelningsplanen för utsläppsrätter av koldioxid inom Kyotoavtalets första åtagandeperiod, år 2008 till 2012. Motsvarande arbeten har genomförts för flera olika branscher i Sverige bl.a. för järn- och stålindustrin där IVL har genomfört en parallellstudie till denna studie. Denna studie har genomförts av en arbetsgrupp på IVL bestående av Håkan Stripple, Catarina Sternhufvud och Tina Skårman.

Då industrin besitter en stor expertkunskap inom sina respektive tillverkningsområden har det befunnits mycket betydelsefullt med en medverkan från industrin. Industrins roll har här varit att medverka med teknisk sakkunskap för att beskriva respektive tillverkningsområde och dess tekniska möjligheter att reducera koldioxidemissionen. En arbets- och referensgrupp från industrin har under hela arbetets gång varit knuten till projektet. Sammansättningen av referensgruppen har varit som följer:

Lars Andersson, Pilkington Floatglas AB (Planglas)
Lennart Bergh, Wienerberger AB (Tegelbruk)
Carl-Johan Ericson, Rexam Glass Limmared AB (Förpackningsglas)
Erica Granberg, Höganäs Bjuf AB (Eldfast tegel, ugnslining)
Bengt Johansson, AB Svenska Leca (Lättklinker)
Per Lindvall, Saint-Gobain Isover AB (Glasull)
Anders Lyberg, Cementsa AB (Cement)
Ulf Nilsson, SMA Svenska Mineral AB (Kalkprodukter)
Fredrik Rassner, CC Höganäs Byggkeramik AB (Kakel, klinkerplattor)
Alf Wikander, Nordkalk AB (Kalkprodukter)

Vi vill också på detta sätt tacka referensgruppen för dess medverkan och engagemang i projektet.

Göteborg, oktober 2005

Håkan Stripple

Catarina Sternhufvud

Tina Skårman

Sammanfattning

IVL Svenska miljöinstitutet har på uppdrag av Naturvårdsverket (NV) genomfört föreliggande projekt avseende möjligheter att minska utsläppen av fossil koldioxid från mineralindustrin. Projektet har upphandlats av Naturvårdsverket genom anbudsinbjudan med diarienummer 231-1773-05 Rm. Projektets omfattning och utförande är mycket väl definierat av upphandlingsunderlaget. Projektet omfattar i huvudsak tre olika delar.

1. En beskrivning av befintliga produktionsprocesser och dess nuvarande status i Sverige.
2. Redovisning av tekniska möjligheter att reducera koldioxidemissioner inklusive redovisning av CO₂-emissioner och dess utveckling i industrin.
3. Ekonomiska beräkningar av olika reduktionsmöjligheter i syfte att beräkna reduktionskostnaden i t.ex. kr/ton reducerad CO₂.

Tidshorizonten för analyserna är definierad som den handelsperiod som nästa fördelningsplan omfattar. För projektet innebär detta år 2010 som ligger mitt i nästa handelsperiod. Men det är också av intresse att få en bild av potentialen något längre fram i tiden. Därför har också bedömningar inkluderats för en något längre tidshorizont som syftar fram mot år 2020.

En viktig målsättning med projektet har varit att ge en så korrekt bild av mineralindustrins processer och möjligheter att reducera koldioxidemissioner som möjligt. Industrins medverkan i projektet har därför varit en mycket viktig faktor. Industribranschen består av ett litet antal industrier och i många fall har Sverige endast kvar en enda tillverkare av respektive produkt. Denna enda tillverkare är också i många fall utlandsägd. Att korrekt bedöma möjligheterna och konsekvenserna av olika klimatåtgärder är därför mycket viktigt och kan till och med vara direkt avgörande för om industrierna skall finnas kvar i landet eller om industrierna får möjligheter att utvecklas och expandera eller om de kommer att stagnera vid nuvarande produktionsnivå.

Konkurrenter finns på nära håll vilka dels har tillgång till stora mängder utsläppsrätter och dels har en låg lönenivå. En del av dessa konkurrenter har dessutom en produktion som ger upphov till en högre specifik CO₂-emission och även högre specifika nivåer av andra föroreningar än den svenska tillverkningen. Med nuvarande konstruktion av Kyotoavtalet finns en uppenbar risk att ett kapitalflöde kommer att gå från de svenska tillverkarna till tillverkare i länder med god tillgång på utsläppsrätter. Detta kan då leda till att de svenska tillverkarna får bekosta upprustningen av dessa gamla föråldrade fabriker och att den svenska tillverkningen läggs ner. Detta är viktiga frågor som måste belysas och beaktas.

För att kunna jämföra kostnaderna för de olika åtgärderna beräknas den genomsnittliga kostnaden för att reducera ett ton CO₂¹. Detta sker genom att först beräkna den årliga kostnaden för investeringen med hjälp av annuitetsmetoden, vilket betyder att kostnaden fördelas jämnt under investeringens beräknade tekniska livslängd. Till denna kostnad tillkommer förändringar i de fasta och rörliga kostnaderna. I de fasta och rörliga kostnaderna inkluderas företagets förändrade kostnader för drift samt eventuella förändringar i kostnaderna för värme och energi. Det betyder att både negativa och positiva kostnadsförändringar beaktas och det kan vissa fall resultera i en totalt sett negativ kostnad för åtgärden, att företaget faktiskt tjänar på att genomföra åtgärden.

Beräkningarna har genomförts för två nivåer på kalkylräntan, 6 % och 12 %, för att spegla både det samhällsekonomiska och det företagsekonomiska perspektivet. Beräkningarna har visat på stora variationer i åtgärds-kostnader från -137 kr/ton reducerad CO₂ till 3326 kr/ton reducerad CO₂ vid

¹ Alla kostnader är i 2005 års priser.

en ränta på 6 %. De åtgärder som inkluderats i beräkningarna, är de där både kostnad och potential kunnat uppskattats. Dessa åtgärder har tillsammans en maximal reduktionspotential av ca 156 kton (ca 4,5 %). Ungefär hälften (51 %) av denna reduktion kan uppnås till en kostnad av 250 kr, vilket ungefär motsvarar kostnader för en utsläppsrättighet i dagsläget. Vissa CO₂-effektiviseringsåtgärder kan också förutsätta en ökad produktion vilken kan påverka den totala reduktionsmöjligheten. Dessa aspekter har behandlats i kapitlet om tekniska reduktionsmöjligheter. De ekonomiska analyserna har dock utgått från 2005 års produktionsnivå.

Genomgången av olika reduktionsmöjligheter för koldioxidemissionen från de olika tillverkningsindustrierna inom mineralindustrigruppen har visat på vikten av att noga analysera möjligheter och konsekvenser av olika ekonomiska styrmedel. Ekonomiska styrmedel kan vara kraftfulla verktyg för att påverka en teknisk och ekonomisk utveckling men de kan också ha negativ verkan med förödande effekt som nedläggning av fungerande industrier med goda miljöprestanda. Ekonomiska styrmedel är i själva verket inget nytt. Lön till anställda eller skatter är alla välkända ekonomiska styrmedel som använts länge. Nya typer av mera avancerade styrmedel är ofta komplexa, vilket gör att det kan vara svårt att genomskåda effekterna av dessa styrmedel. Det är därför viktigt att noga analysera konsekvenserna av nya styrmedel innan allvarliga och irreparabla skador inträffar.

Denna studie har visat på många viktiga aspekter som måste beaktas. De produktionshämmande aspekterna i förhållande till tillverkningens CO₂-effektivitet är en svårighet. En annan viktig fråga är hur man hanterar den internationella konkurrensen och problemen med olikheterna i tilldelning mellan konkurrerande företag. Denna studie har med all tydlighet visat på att handeln med utsläppsrätter kan ha en stark inverkan på industrin och med nuvarande priser på utsläppsrätter kommer produktionen och konkurrenssituationen i de olika företagen att påverkas.

Flera olika frågeställningar har också accentuerats. Systemaspekternas betydelse för en industris bidrag till växthuseffekten har tydligt visats. För mineralull är situationen den att ju mera man tillverkar desto mindre blir CO₂-emissionen i samhället p.g.a. att produkten används som isolering. Produktionens bidrag spelar här en mindre roll. CO₂ som styrmedel för produktionen är också en aspekt som belysts. Ett ensidigt fokus på CO₂-emissionen kan leda till missriktade åtgärder inom industrin. Övergången från gasol till naturgas kan vara ett exempel. För det enskilda företaget kan en investering i en dyr naturgasinstallation leda till sänkta CO₂-emissioner medan för samhället i sin helhet innebär bytet enbart att gasolen förbränns någon annanstans, eventuellt utanför handelssystemet.

I stället för att CO₂-emissionen ensidigt skall styra produktionsplaneringen kanske det vore bättre att elda vissa bränslen i vissa pannor som är speciellt lämpade för dessa bränslen utan att snekla för mycket på CO₂-emissionen. Idag finns en tendens att högvärdiga och CO₂-effektiva bränslen eldas i stora förbränningsanläggningar när, i stället, dessa anläggningar skulle fokuseras på svåreldade och tyngre bränslen och spara de högvärdiga bränslena till mindre anläggningar som har svårare att ta hand om mera förorenande bränslen. Ett annat exempel är när strålningsenergin i flammen används i processen (glödande partiklar som avger strålning i flammen). I dessa fall bör ett bränsle som avger strålning användas i första hand då mindre strålände bränslen som naturgas leder till högre energiförbrukning. Dessa bör avsättas för tillämpningar där denna effekt inte används oberoende av CO₂-emissionen.

En annan viktig aspekt är att CO₂-frågan inte får ha en stark negativ inverkan på produkternas kvalitet. Det är t.ex. viktigt att bibehålla en hög kvalitet på cementen. Att göra avkall på kvalitén i jakten på några få kilo CO₂ kan få förödande konsekvenser för samhället i ett senare skede och förorsaka mycket större CO₂-utsläpp i framtiden.

Innehållsförteckning

| | |
|---|----|
| Sammanfattning..... | 1 |
| Förkortningar..... | 4 |
| 1 Inledning och bakgrund..... | 5 |
| 2 Metodbeskrivning..... | 7 |
| 2.1 Processanalyser och reduktionspotentialer för CO ₂ | 7 |
| 2.2 Kostnadsberäkningar..... | 8 |
| 2.3 Kostnadstrappor..... | 9 |
| 3 Cementindustrin..... | 10 |
| 3.1 Processer och anläggningar..... | 10 |
| 3.2 Masugnsslagg – Processer och applikationsområden..... | 16 |
| 3.2.1 Framställning..... | 16 |
| 3.2.2 Produktområden..... | 17 |
| 3.2.3 Miljöaspekter..... | 19 |
| 3.2.4 Marknadsaspekter på slagganvändning vid cementtillverkning..... | 20 |
| 3.3 Tekniska reduktionsmöjligheter för koldioxid..... | 20 |
| 3.4 Ekonomiska analyser av reduktionsmöjligheter för koldioxid..... | 31 |
| 4 Lättklinkerindustrin..... | 32 |
| 4.1 Processer och anläggningar..... | 32 |
| 4.2 Tekniska reduktionsmöjligheter för koldioxid..... | 35 |
| 4.3 Ekonomiska analyser av reduktionsmöjligheter för koldioxid..... | 39 |
| 5 Kalkindustrin..... | 40 |
| 5.1 Processer och anläggningar..... | 40 |
| 5.2 Tekniska reduktionsmöjligheter för koldioxid..... | 45 |
| 5.3 Ekonomiska analyser av reduktionsmöjligheter för koldioxid..... | 49 |
| 6 Planglasindustrin..... | 49 |
| 6.1 Processer och anläggningar..... | 49 |
| 6.2 Tekniska reduktionsmöjligheter för koldioxid..... | 52 |
| 6.3 Ekonomiska analyser av reduktionsmöjligheter för koldioxid..... | 58 |
| 7 Glasullsindustrin..... | 58 |
| 7.1 Processer och anläggningar..... | 58 |
| 7.2 Tekniska reduktionsmöjligheter för koldioxid..... | 61 |
| 7.3 Ekonomiska analyser av reduktionsmöjligheter för koldioxid..... | 63 |
| 8 Förpackningsglasindustrin..... | 63 |
| 8.1 Processer och anläggningar..... | 63 |
| 8.2 Tekniska reduktionsmöjligheter för koldioxid..... | 64 |
| 8.3 Ekonomiska analyser av reduktionsmöjligheter för koldioxid..... | 70 |
| 9 Tegelindustrin..... | 71 |
| 9.1 Processer och anläggningar..... | 71 |
| 9.2 Tekniska reduktionsmöjligheter för koldioxid..... | 73 |
| 9.3 Ekonomiska analyser av reduktionsmöjligheter för koldioxid..... | 78 |
| 10 Keramikindustrin..... | 78 |
| 10.1 Processer och anläggningar - klinkerplattor..... | 78 |
| 10.2 Tekniska reduktionsmöjligheter för koldioxid..... | 82 |
| 10.3 Ekonomiska analyser av reduktionsmöjligheter för koldioxid..... | 84 |
| 11 CO ₂ -reduktion genom avskiljning och lagring..... | 84 |
| 12 Kostnadstrappor..... | 85 |
| 13 Diskussion..... | 88 |
| Bilaga 1. Advantages and disadvantages - Long rotary kiln..... | 89 |
| Bilaga 2 (från preliminärt EU BAT dokument)..... | 90 |

Förkortningar

| Förkortning | Betydelse |
|--------------------|---|
| CO ₂ | Koldioxid |
| BAT | Best Available Techniques, begrepp rörande bästa möjliga teknik definierad i IPPC direktivet. |
| IPPC | Integrated Pollution Prevention and Control, EU direktiv rörande produktionsteknik för att minska emissionerna av miljöstörande ämnen. |
| LPG | Liquified Petroleum Gas, komprimerade gasprodukter från råoljeraffinaderier bestående mestadels av propan (C ₃ H ₈) och butan (C ₄ H ₁₀). |
| Gasol | Svensk beteckning på LPG. |
| Naturgas | Gas från naturliga källor bestående mestadels av metan (CH ₄). |
| BS | Blast furnace slag, Masugnsslagg. |
| GBS | Granulated blast furnace slag. Masugnsslagg som snabbkylts genom vattengranulering. Erhåller latent hydrauliska egenskaper. |
| GGBS | Ground granulated blast furnace slag. Finmald granulerad masugnsslagg. |

1 Inledning och bakgrund

IVL Svenska miljöinstitutet har på uppdrag av Naturvårdsverket (NV) genomfört föreliggande projekt avseende möjligheter att minska utsläppen av fossil koldioxid från mineralindustrin. Projektet har upphandlats av Naturvårdsverket genom anbudsinbjudan med diarienummer 231-1773-05 Rm.

I regleringsbrevet för år 2005 gav regeringen Naturvårdsverket bl.a. uppdrag nummer 13 som rör utsläpp av växthusgaser och handeln med utsläppsrätter.

I uppdrag nummer 13 fanns tre deluppdrag.

1. NV och energimyndigheten, STEM, skall redovisa en prognos för utsläppen av växthusgaser både från den handlande sektorn och från övriga sektorer för år 2010.
2. NV och STEM skall i samråd med SIKA redovisa en bedömning av effekten av senaste beslut av regering och riksdag vad gäller utsläpp från den icke-handlande sektorn.
3. NV skall redovisa en bedömning av möjligheterna, bl.a. de tekniska, att minska utsläppen från raffinaderier, koksverk, järn- och stålindustri, mineralindustri samt pappers- och massaindustri. Inte bara koksverken utan även pelletsverken får anses ingå i järn- och stålindustrin. Redovisningen skall göras senast den 31 december 2005.

Energimyndigheten har fått ett uppdrag motsvarande 13.3 men för energisektorn vilken är den återstående sektorn inom handelssystemet.

Uppdragets formulering är hämtad från bilaga III i Europaparlamentets och Rådets direktiv 2003/87/EG om ett system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser. Bilagan ger kriterier för de nationella fördelningsplanerna. Regeringen skall före 1 juli år 2006 ha upprättat och till kommissionen redovisat Sveriges fördelningsplan för åren 2008-2012. Uppdrag skall ses i detta sammanhang.

Föreliggande projekt utgör en del av uppdrag 13.3 och behandlar mineralindustrins möjligheter att reducera koldioxidemissionerna. Mineralindustrin har i detta fall definierats enligt nedanstående definition.

- Anläggningar för produktion av cementklinker i roterugn med en produktionskapacitet som överstiger 500 ton per dag.
- Anläggningar för produktion av kalk i roterugn med en produktionskapacitet som överstiger 50 ton per dag eller i andra typer av ugnar med en produktionskapacitet som överstiger 50 ton per dag.
- Anläggningar för produktion av glas, inklusive sådana som är avsedda för tillverkning av glasfibrer, med en smältningskapacitet som överstiger 20 ton per dag.
- Anläggningar för tillverkning av keramiska produkter genom bränning, i synnerhet takpannor, tegel, eldfast sten, kakel, stengods eller porslin med en produktionskapacitet som överstiger 75 ton per dygn och/eller en ugnskapacitet som överstiger 4 m³ och med en satsningsdensitet på mer än 300 kg/m³ per ugn.

Projektets omfattning och utförande är mycket väl definierat av upphandlingsunderlaget. Projektet omfattar i huvudsak tre olika delar.

1. En beskrivning av befintliga produktionsprocesser och dess nuvarande status i Sverige.
2. Redovisning av tekniska möjligheter att reducera koldioxidemissioner inklusive redovisning av CO₂-emissioner och dess utveckling i industrin.
3. Ekonomiska beräkningar av olika reduktionsmöjligheter i syfte att beräkna reduktionskostnaden i t.ex. kr/ton reducerad CO₂.

Tidshorisonten för analyserna är definierad som den handelsperiod som nästa fördelningsplan omfattar. För projektet innebär detta år 2010 som ligger mitt i nästa handelsperiod. Men det är också av intresse att få en bild av potentialen något längre fram i tiden. Därför har också bedömningar inkluderats för en något längre tidshorisont som syftar fram mot år 2020.

En viktig målsättning med projektet har varit att ge en så korrekt bild av mineralindustrins processer och möjligheter att reducera koldioxidemissioner som möjligt. Industrins medverkan i projektet har därför varit en mycket viktig faktor. Industribranschen består av ett litet antal industrier och i många fall har Sverige endast kvar en enda tillverkare av respektive produkt. Denna enda tillverkare är också i många fall utlandsägd. Att korrekt bedöma möjligheterna och konsekvenserna av olika klimatåtgärder är därför mycket viktigt och kan till och med vara direkt avgörande för om industrierna skall finnas kvar i landet eller om industrierna får möjligheter att utvecklas och expandera eller om de kommer att stagnera vid nuvarande produktionsnivå.

Konkurrenter finns på nära håll vilka dels har tillgång till stora mängder utsläppsrätter och dels har en låg lönenivå. En del av dessa konkurrenter har dessutom en produktion som ger upphov till en högre specifik CO₂-emission och även högre specifika nivåer av andra föroreningar än den svenska tillverkningen. Med nuvarande konstruktion av Kyotoavtalet finns en uppenbar risk att ett kapitalflöde kommer att gå från de svenska tillverkarna till tillverkare i länder med god tillgång på utsläppsrätter. Detta kan då leda till att de svenska tillverkarna får bekosta upprustningen av dessa gamla föråldrade fabriker och att den svenska tillverkningen läggs ner. Detta är viktiga frågor som måste belysas och beaktas.

2 Metodbeskrivning

2.1 Processanalyser och reduktionspotentialer för CO₂

Projektet har genomförts som ett samarbetsprojekt mellan IVL och den berörda mineralindustrin. Mineralindustrin besitter en betydande kompetens om de berörda anläggningarna och det har därför varit av stor vikt för projektet att denna kunskap har kunnat tagas tillvara. Detta kombinerat med IVL:s miljökunskande inom både det tekniska processområdena och inom klimatområdet har lagt en fast grund för projektet. IVL har dessutom en lång erfarenhet av att arbeta självständigt men i nära samarbete med industrin. Detta arbetssätt har också tillämpats i detta projekt.

Även andra informationskällor än den berörda industrin har använts såsom litteratur, forskningsrapporter, EU:s IPPC BAT Reference Documents etc. Genom detta har också en internationell jämförelse kunnat erhållas.

Respektive industri inom mineralindustriområdet har bidragit med information från sina egna anläggningar. I rapporten presenteras respektive tillverkningsbransch i separata kapitel. Då mycket få företag finns i varje tillverkningsbransch blir uppgifterna med nödvändighet en spegling av respektive tillverkare. Detta är dock ingen nackdel utan bidrar till att spegla konsekvenserna för den svenska industrin.

Viktig och specifik information som hämtats från respektive tillverkare är:

- Nulägesbeskrivning innehållande utsläpp, energiförbrukning, processbeskrivning samt även utvecklingstrender för de senaste åren etc.
- Möjliga reduktionspotentialer/tekniska möjligheter.
- Marginalkostnaderna för reduktionsåtgärder.
- Uppskattning av produktionen för år 2010 och 2020.

I studien har åtgärder som både minskar bränslerelaterade utsläpp och åtgärder som minskar råvarurelaterade utsläpp av fossil CO₂ beaktats. Minskade utsläpp p.g.a. av biogen koldioxid och leverans av fjärrvärme till andra anläggningar har redovisats separat. Kopplingen mellan masugnar och cementugnar avseende slagg har speciellt beaktats.

Reduktionspotentialen av CO₂ vid användningen av vissa produkter har också speciellt beaktats. Dessa har visat sig kunna ge betydande reduktioner av CO₂ genom sina energibesparande egenskaper. De nedströms uppkomna systemaspekterna för två produktområden har analyserats och effekterna har påvisats med några förenklade men illustrativa räkneexempel. Produktområdena är:

- Upptag av CO₂ från cement och kalk under och efter användningsfasen.
- Minskad energiförbrukning p.g.a. användning av glasull samt energiglas.

2.2 Kostnadsberäkningar

För att kunna jämföra kostnaderna för de olika åtgärderna beräknas den genomsnittliga kostnaden för att reducera ett ton CO₂. Detta sker genom att först beräkna den årliga kostnaden för investeringen med hjälp av annuitetsmetoden. Kostnaden fördelas jämnt under investeringens beräknade livslängd, enligt ekvation (1).

$$I_{\text{årlig}} = I * \frac{(1+r)^l * r}{(1+r)^l - 1} \quad (1)$$

| | |
|--------------------|--------------------------------|
| $I_{\text{årlig}}$ | Årlig investeringskostnad [kr] |
| I | Investeringskostnad [kr] |
| r | Kalkylränta [%] |
| l | Teknisk livslängd [år] |

Beräkningarna genomförs för två nivåer på kalkylräntan, 6 % och 12 %, för att spegla både det samhällsekonomiska och det företagsekonomiska perspektivet. I ekvationen används den tekniska livslängden.

För att beräkna den totala årliga kostnaden för en åtgärd som reducerar CO₂ används följande ekvation, (2):

$$TC = I_{\text{årlig}} + FC + VC \quad (2)$$

| | |
|------|--------------------------|
| TC | Total årlig kostnad [kr] |
| FC | Fast årlig kostnad [kr] |
| VC | Rörlig kostnad [kr] |

I de fasta och rörliga kostnaderna inkluderas företagets förändrade kostnader för drift samt eventuella förändringar i kostnaderna för värme- och energi. Det betyder att både negativa och positiva kostnadsförändringar beaktas och det kan vissa fall resultera i en totalt sett negativ kostnad för åtgärden, att företaget faktiskt tjänar på att genomföra åtgärden. I beräkningarna inkluderas inga skatter och avgifter.

För att beräkna den genomsnittliga kostnaden för att reducera ett ton CO₂ divideras den totala årliga kostnaden för investeringen med den årliga utsläppsreduceringen som åtgärden medför, enligt ekvation 3.

$$AC = \frac{TC}{CO_2} \quad (3)$$

| | |
|--------|---------------------------------------|
| AC | Genomsnittlig kostnad [kr/ton] |
| CO_2 | Reducerad mängd CO ₂ [ton] |

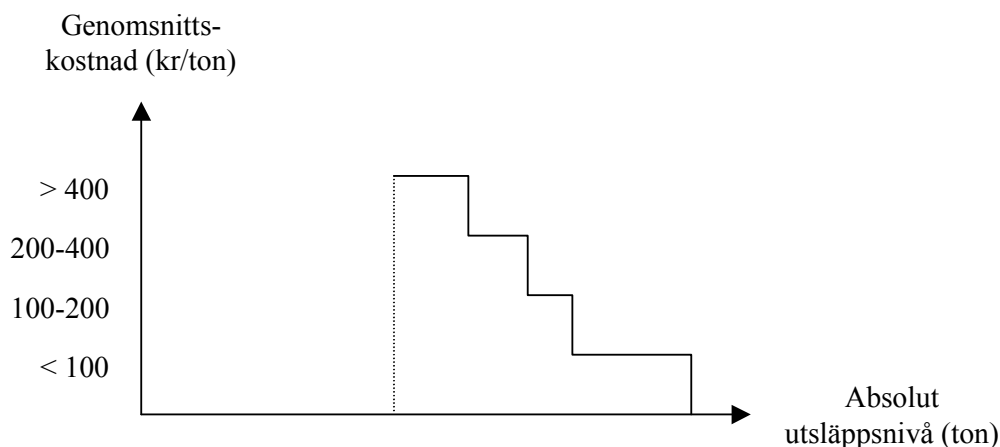
² Alla kostnader är i 2005 års priser.

Många åtgärder påverkar även utsläppen av andra föroreningar, både positivt och negativt. Detta ignoreras i denna rapport och hela kostnaden för åtgärden allokeras till reduktionen av CO₂.

Parallellt med detta projekt pågår motsvarande projekt³ hos Elforsk för att studera möjligheten att reducera CO₂-utsläppen från produktion och användning av energi i ett antal sektorer. För att resultaten skall vara jämförbara används samma bränslepriser som föreslagits i det projektet. För att titta på effekterna av minskad användning av el används naturgaskondenskraftverk som referens, vilket också överensstämmer med Elforsk-projektet.

2.3 Kostnadstrappor

För att redovisa resultaten på ett lättöverskådligt sätt inkluderas åtgärderna från alla sektorer i två kostnadstrappor. Kostnadstrapporna visar den totala reduktions-potentialen i hela mineralindustrin år 2010 (inga åtgärder har kunnat uppskattats för 2020). Alla åtgärder som har en uppskattad genomsnittlig reduktionskostnad lägre än 100 kr/ton reducerad fossil CO₂ placeras i en grupp och deras totala reduktionspotential i ton CO₂ summeras. På motsvarande sätt grupperas åtgärderna med en kostnad av 100-200 kr/ton, 200-400 kr/ton samt åtgärder med en reduceringskostnad överstigande 400 kr/ton. En principskiss visas i figur 1.



Figur 1 Principskiss av en kostnadstrappa för att reducera fossil CO₂.

I figuren kan utläsas de absoluta utsläppsnivåerna som kan uppnås i ton/år från hela mineralindustrin vid fyra olika nivåer på accepterade kostnader.

Kostnadstrapporna som endast är indelade i fyra nivåer har en viss begränsning då det inte går att uttala sig om den genomsnittliga kostnaden per reducerat ton CO₂ för en specifik utsläppsnivå, då varje nivå består av en grupp av åtgärder. I modellen antas också att åtgärder bara kan införas till 0 eller 100 %. Konsekvensen av detta blir att om man skulle vilja sätta ett utsläppsmål som innebär att en åtgärd bara skulle behöva implementeras till 60 %, så får man en överskottskostnad motsvarande den kostnad det innebär att implementera de resterande 40 % av aktuell åtgärd.

Ett annat problem är att vissa åtgärder inte går att genomföra i kombination med varandra och i andra fall krävs det en tidigare investering. Det kan också vara så att tidigare investeringar påverkar

³ Kostnader och potential för åtgärder att minska utsläpp av CO₂ i Sverige. www.elforsk.se

nästa åtgärds reduktionspotential. Om en tidigare investering krävs löses detta genom att man grupperar dessa åtgärder och behandlar dem som en gemensam åtgärd. Problematiken med uteslutande åtgärder behandlas i denna rapport genom att använda villkor satsar – om åtgärd x används kan inte åtgärd y användas. I kostnadstrappan kommer de åtgärder kombineras som ger billigast totala kostnad, även om de var för sig inte har den största reduktionspotentialen i absoluta värden.

Fallet med att en åtgärds reduktionspotential påverkas av tidigare genomförda åtgärder brukar speglas i användandet av marginalkostnader då man tittar på kostnaden för den ytterligare reduktionspotentialen för en ny åtgärd givet redan implementerade åtgärder. Detta kräver dock att man vet i vilken ordning åtgärderna förväntas genomföras och vilket utsläppsmål som har bestämts. I detta projekt kommer beroendet mellan olika åtgärders potential att i likhet med Elforsks projekt om CO₂ reduktion i energisektorn endast beskrivas kvalitativt, och reduktionen beräknas utifrån ett så kallat orenat fall. I de allra flesta fall påverkar inte åtgärderna varandra då de sker på olika anläggningar och det blir ingen skillnad på genomsnittskostnaden och marginalkostnaden.

3 Cementindustrin

3.1 Processer och anläggningar⁴

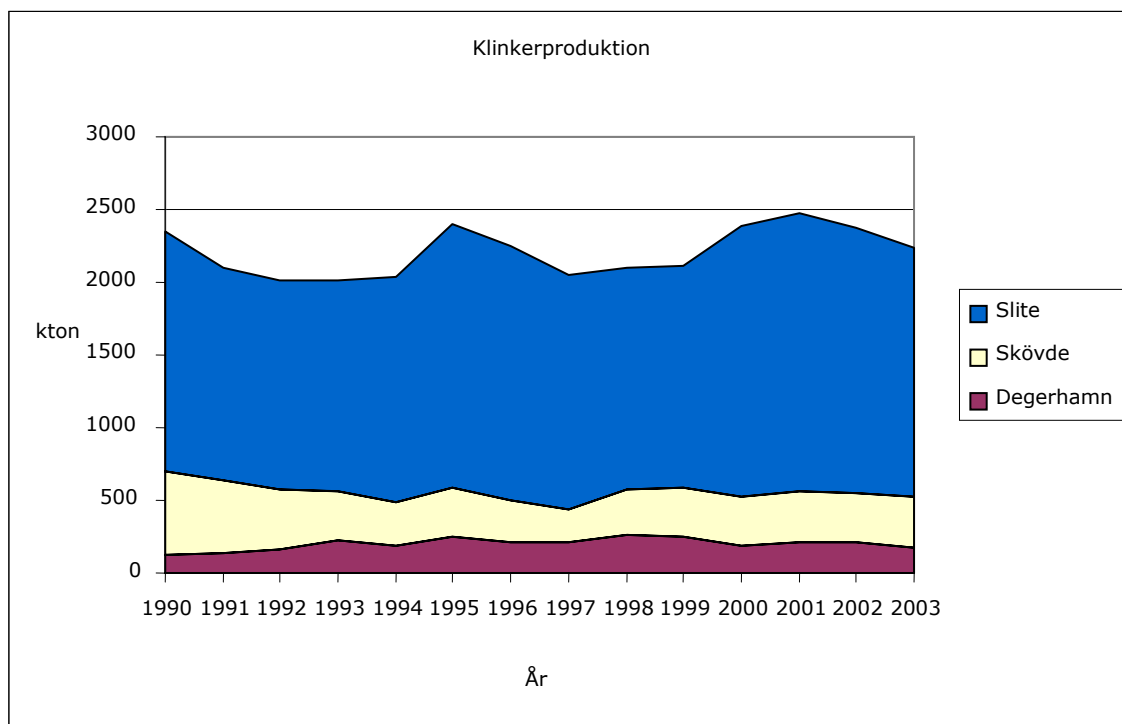
Cementproduktion bedrivs idag endast av ett företag i Sverige, Cementsa, som ingår i Heidelbergkoncernen. Cementsa har tillverkning på tre orter; Slite, Skövde och Degerhamn varav Slite på Gotland är den avgjort största produktionsanläggningen. I tabell 1 visas produktionen och CO₂ utsläppen från de olika anläggningarna för år 2003.

Tabell 1 Cementsa – Produktion och CO₂-emission för år 2003.

| Produktionsort | Produkt | Cementproduktion | | CO ₂ -utsläpp |
|----------------|---------------------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|
| | | (ton) | Klinkerproduktion (ton) | (ton) |
| Slite | Portlandcement | 1 866 683 | 1 704 987 | 1 460 000 |
| Skövde | Portlandcement och Murcement | 431 000 | 349 000 | 295 000 |
| | Anläggningscement och P 400 cement | | | |
| Degerhamn | | 193 300 | 179 949 | 179 000 |
| Totalt | | 2 490 983 | 2 233 936 | 1 934 000 |

Tillverkningen av cement har varit relativt konstant under en följd av år med mindre konjunkturvariationer. Utvecklingen av den svenska produktionen framgår av figur 2.

⁴ Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries, December 2001, EUROPEAN COMMISSION.



Figur 2 Den svenska klinkerproduktionen åren 1990 till 2003.

Tillverkningen av cement kan indelas i några olika steg:

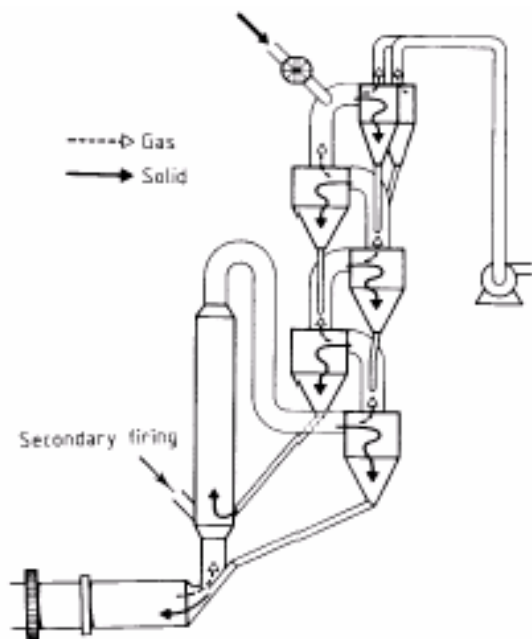
1. Utvinning av råmaterial
2. Krossning och homogenisering
3. Torkning och malning
4. Bränning
5. Malning av bildad cementklinker
6. Lagring, lastning och transport

En schematisk bild av tillverkningen visas i figur 4.

Den vanligaste cementtypen s.k. portlandcement tillverkas genom att kalksten blandas med andra additiv som t.ex. järn-, aluminium- och kiselhaltiga mineral vanligen i form av lera. Materialen mals, blandas och bränns till cementklinker vid hög temperatur (1400-1450 °C) i en roterugn. I denna process sintrar materialen till klinker. Vid Cementas produktion leds råmjölet till roterugnen via ett cyklonsystem. Genom cyklonsystemet leds rökgaser från roterugnen i motström, varvid pulvret värms till ca 900°C så att koldioxiden i råmjölet avdrivs. Det glödande klinkermaterialet kyls hastigt i kylare som finns monterade runt ugnens nedre del för att få en för cementtillverkning lämplig klinker.

Cementugnar finns med och utan förvärmare. Förvärmarna kan vara av två typer dels en där materialet endast förvärms före inträdet i roterugnen dels en där även kalcineringen (avdrivning av CO₂) sker i förvärmarsteget. Förvärmarna finns också med olika konstruktionslösningar t.ex. cyklon-förvärmare, Lepol-förvärmare, suspensionsförvärmare, schaktförvärmare. Cementugnen i Slite är en roterugn med cyklonförvärmare och integrerat kalcineringssteg. En roterugn med 5-

stegscyklonförvärmare och kalcineringssteg är idag standard för nya ugnar och räknas som det bästa man kan installera. Av standardugnarna ger denna ugnstyp den lägsta energiförbrukningen. I figur 3 visas en schematisk bild av en 5-stegs cyklonförvärmare.



Figur 3 En 5-stegs cyklonförvärmare med kalcineringssteg.

I princip finns fyra olika processtekniker för att hantera tillsatsmaterialet; torr, semi-torr, semi-våt och våt process. Moderna anläggningar bygger i huvudsak på den torra processen då tillsättning av vatten i processen leder till ökad energiförbrukning då detta vatten måste förångas. En sammanställning av de olika processteknikerna har gjorts i [5] utifrån EU:s BAT-dokument för cementproduktion. Denna sammanställning visas i tabell 2 nedan. Den svenska produktionen är helt baserad på den torra processen. Inom EU finns dock många anläggningar som drivs med våt process. Råmaterialet sätter dock vissa begränsningar för om ett byte är möjligt till en torr process.

⁵ Åhman Max, Den svenska cement- och kalkindustrin — konsekvenser av EU:s system för handel med utsläppsrätter, IMES/EESS Rapport nr:55, Avdelningen för miljö- och energisystem Lunds tekniska högskola, December 2004.

Tabell 2 Processtekniker för framställning av klinker⁵.

| Processteknik | Torr | | | Semi-torr | | Semi-våt | | Våt | |
|------------------------------------|---|----------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------------|--|--------------|---------------------------|
| | Lång 1-2 stegs SP ^a (1) | 4 stegs SP (2) | 4-6 stegs PC ^b (3) | Lång | Lepol ^c | Lepol (3 kamrar) | 3 och 4 steg SP och PC med tork | Lång | 2 stegs PC med tork |
| Råvara | torr råmjöl | | | pelleterat råmjöl | | filterkaka (pressad) | | Slurry | |
| Fukthalt (%) | 0,5 – 1,0 | | | 10-12 | | 16-21 | | 28-43 | |
| Ugnskapacitet (ton klinker/dag) | 300- 2800 | 300- 4000 | 2000- 10000 | 300- 1500 | 300- 2000 | 300- 3000 | 2000- 5000 | 300- 3600 | 2000- 5000 |
| Specifik värme (GJ/ton klinker) | 3,6-4,5 | 3,1-3,5 | 3,0-3,2 | 3,5-3,9 | 3,2-3,6 | 3,6-4,5 | 3,4-3,6 | 5,0-7,5 | 4,5-5,0 |

^a SP=Cyclone preheater kiln, Ugn med förvärmning i cyclon

^b PC=Cyclone preheater/precalciner kiln; Ugn med förvärmning och förkalcinering i cyclon

^c Lepol= travelling grate preheater kiln, Ugn med förvärmning i rörlig rostbädd

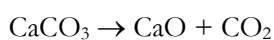
(1)=Degerhamn, (2)=Skövde, (3)=Slite

Det huvudsakliga råmaterialet för cement är kalksten. Kalksten är vanligt förekommande på jorden. Vid de svenska fabriker bryts den i dagbrott tillsammans med märgelsten. Silikat erhålls från lågsten och märgelsten samt sand. För att möjliggöra reaktion vid lägre temperatur (1450 °C i stället för 3000 °C) behövs också järn- och aluminiumhaltiga material som t.ex. Merox järnbärare och bauxit som bildar en smältfas.

Framställningen av cement kräver hög temperatur, ca 1450 °C, och är därmed mycket energikrävande. De bränslen som används är huvudsakligen kol och pet-coke (från oljeraffinering), men Cementa strävar efter att i så stor utsträckning som möjligt ersätta dessa med bränslen framställda ur restprodukter, t.ex. spillolja, lösningsmedel, mjukplast och uttjänta däck. Restprodukterna tas omhand på ett säkert och effektivt sätt, i ugnar med hög temperatur, lång uppehållstid, basisk miljö och långtgående rening av stoft och sura gaser, samtidigt som energin tas tillvara.

Genom att använda restprodukter som bränsle i allt större utsträckning minskar belastningen av koldioxid som ger upphov till "växthuseffekt". Dessa restprodukter ersätter fossila bränslen vilkas användning då kan reduceras. I jämförelse med deponering av dessa restprodukter ger detta en betydande reduktion av koldioxidutsläppet då restprodukterna även bildar koldioxid vid dess nedbrytning i deponin. Ett villkor för att alternativa bränslen ska kunna användas är att de inte ger negativa effekter på miljön eller på cementkvaliteten jämfört med traditionella bränslen. De alternativa bränslen som Cementa använder är restprodukter med känt innehåll som inte kan materialåtervinnas mer idag. Energiåtervinning är bättre än deponering enligt ovan. Deponering av brännbart material är i lag förbjudet men dispenser ges för stora volymer. En restriktiv allokering av utsläppsrätter för förbränning av restmaterial som inte kan materialåtervinnas styr mot ökad deponering trots förbud.

Vid tillverkningen av cement bildas koldioxid dels från förbränningen av de bränslen som behövs vid tillverkningen och dels från kalcineringen av kalkstenen enl.



I ugnens brännzon reagerar sedan CaO och SiO₂ till framför allt trikalciumsilikat men även Al₂O₃ och Fe₂O₃ reagerar med CaO och cementklinker bildas under granulering till ca hasselnötsstora klinkerkulor.

Efter bränningen mals den sintrade produkten till önskad partikelstorlek. Den malda klinkern blandas därefter med bl.a. gips, kalksten och järnsulfat till den slutliga cementprodukten. Klinkerinnehållet varierar mellan 80 - 95 % i Cementas cement-produktion, beroende på cementsortens användningsområde och kundkrav.

År 2004 producerade Cementa AB följande kvantiteter:

| | |
|-------------------|-----------|
| Byggcement | 1023 kton |
| Snabbcement SH | 221 kton |
| Anläggningscement | 245 kton |
| Export | 1105 kton |

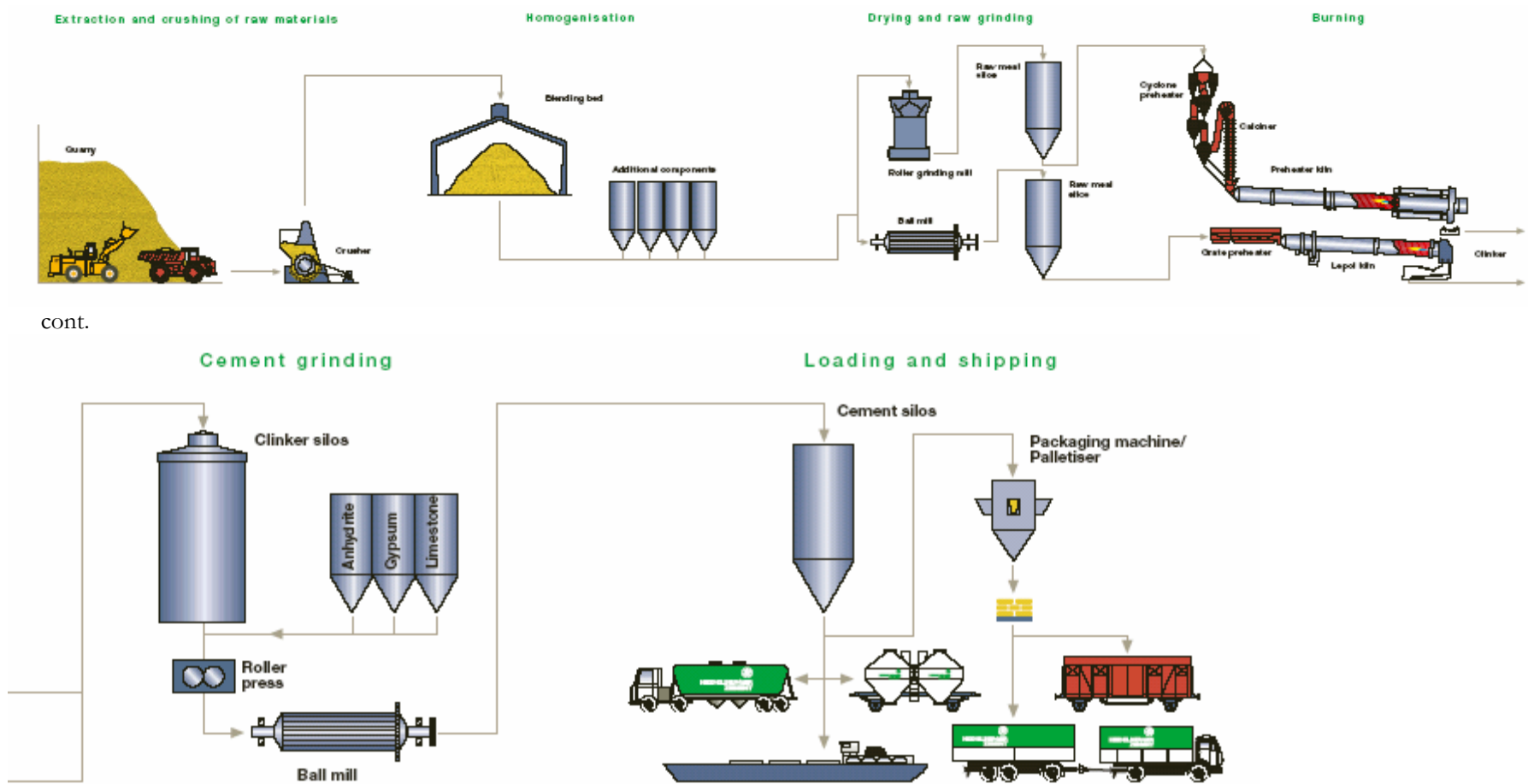
Byggcement är det allmänna husbyggnadscementet. Snabbcementet används i pre-fabrikation och vid produktion vintertid för husbyggnad. Anläggningscement är ett moderat långsamhårdnande cement för anläggningsändamål som t.ex. broar och vägar, där marknaden efterfrågar ett portlandcement med hög klinkerandel av bl.a. beständighetsskäl som frosttålighet. Exportcementets kvalitet varierar från land till land men för den största exportmarknaden, USA, kräver marknaden portlandcement med hög klinkerandel och kvalitet för att uppnå största konkurrenskraft. Byggcementets klinkerandel ligger i det nedre intervallet och de andra cementen i det övre intervallet.

Vid övergång från Standardcement till Byggcement år 2000 sänktes klinkerandelen med 10 % samtidigt som hållfastheterna hölls oförändrade eller något högre. Malfinheten ökades kraftigt och även justering av råmaterialen skedde för att upprätthålla hållfastheterna. Förbättrade gjutegenskaper gjordes möjligt med övergången. I länder med kallt klimat används cement allmänt med högre ytor för att bl.a. byggandet ej skall ta för lång tid. Byggcementet har prestanda som ett kontinentalt snabbcement.

Cementklinker ger hög tidig hållfasthet och hög sen hållfasthet p.g.a. av dess höga halt av trikalciumsilikat. Material med latent hydrauliska egenskaper behöver klinker (även bränd kalk har använts) för att aktiveras. Exempel på detta är puzzolana och slagg. Dessa har låg potential vad gäller tidig hållfasthet men ofta bra vid sen hållfasthet. Ökad malfinhet ökar framför allt den tidiga hållfastheten. Det finns en övre gräns i malfinhet som bl.a. av kvalitetsskäl inte kan överskridas. På senare år har kundkrav i Sverige medfört en ökad 1-dygnshållfasthet för Standard/Byggcement och SH på c:a 20 %. I varmare klimat kan ofta cement med lägre klinkerandel och lägre malfinhet användas.

Importcementen i Sverige, som svarar för 10-15 % av försäljningen, är av portlandcementtyp med hög klinkerandel som konkurrerar med Cementas Byggcement med lägre klinkerandel.

Det mesta av cementen används till betong. Betong består av grus, vatten och cement (typiskt 15 % av betongen). Cementet utgör bindemedlet som håller samman betongen. Betong är det största byggnadsmaterialet i Sverige.



cont.

Figur 4 Schematisk bild visande tillverkningen av cement (bild från Heidelberg Cement).

3.2 Masugnsslagg – Processer och applikationsområden⁶

3.2.1 Framställning

Masugnsslagg (BS) är en biprodukt vid tillverkningen av råjärn i masugn och bildas av råmaterialen kalksten och kiselinnehållande mineral. Slaggsammansättningen är noga styrd i masugnprocessen för att bilda en metallfri glassmälta, till skillnad från andra metallinnehållande slaggar från metallurgiska stålprocesser. Genom att styra svalnings/kylningsförloppet får den smälta masugnsslaggen (glassmältan) helt olika materialegenskaper i fast form. Exempel på möjliga egenskaper är hårdhet, hög hållfasthet, bindningsegenskaper (cement) och fastläggning/sorption av fosfor och tungmetaller från avlopp eller förorenad mark.

Efter tappning kan den smälta masugnsslaggen behandlas på i huvudsak två sätt, långsamsvälning (luftsvälning) eller snabbkylning (vattengranulering)

Långsamsvälning

Vid långsamsvälning erhålles ett kristallint material innehållande naturligt förekommande mineral. Vid tillverkning av ”Hyttsten” inom SSAB/SSAB Merox AB, kyls den smälta masugnsslaggen på ett sådant sätt att ett finkristallint material med viss porighet erhålls. Den framställda Hyttstenen får därigenom unika konstruktionsegenskaper av hög kvalitet, med syfte att användas som konstruktionsmaterial vid anläggningsarbeten. Hyttsten har även ett flertal användningsområden utanför anläggningsverksamhet, som t.ex. jordförbättrings-medel, bäddsand i fluidiserande pannor samt filter av olika slag.

Snabbkylning

Vid snabbkylning av slaggsmältan erhålles ett glasigt/amorft material med latent hydrauliska egenskaper (cementbindning). Den i praktiken enda förekommande processen är genom vattengranulering. Vattengranulering och tillverkning av ”Hyttssand” förekommer i Sverige idag bara vid SSAB Merox anläggning i Oxelösund.

Svensk produktion

Totalt produceras ca 600 000 ton masugnsslagg per år i Sverige vid SSAB's anläggningar i Oxelösund (ca 300.000 ton) och Luleå (ca 300.000 ton). I Borlänge finns idag ingen metallurgi.

Oxelösund

I Oxelösund tillverkas både Hyttsten (luftkyld) och Hyttssand (vattengranulerad). Fördelningen mellan luftkylning/vattengranulering styrs av försäljningen. Ca 70 % luftkyls till hyttstensprodukter och ca 30 % vattengranuleras till hyttssandsprodukter av olika slag. All masugnsslagg säljs idag i form av olika produkter med specifika egenskaper, inga lager eller deponier av masugnsslagg finns i Oxelösund.

Luleå

I Luleå tillverkas idag enbart Hyttsten med inriktning på anläggningsverksamhet. Ingen process för snabbkylning finns idag.

Beroende på aktiviteten på anläggningsidan förekommer tidvis lagerläggning av Hyttsten.

⁶ Information från Merox AB, Torbjörn Carlsson och Cementa AB.

3.2.2 Produktområden

Produkter från masugnsslagg används och har en stor potential inom följande produktområden:

Cement och byggnadstekniska bindemedel.
Produkter för anläggningsverksamhet
Jordförbättringsmedel
Miljö/Sanering
Andra applikationer

Cement och byggnadstekniska bindemedel

Att glasig masugnsslagg, från den på 1850-talet introducerade koksugnsmasugnen, hade cementegenskaper upptäcktes 1862 i Tyskland. Tidigt efter upptäckt startade i Tyskland en tillverkning av kalkaktiverad masugnsslaggcement. Kring 1870 introducerades den typ av blandcement med portlandcement som är den typ av slaggcement som används än idag i hela världen. Många kända byggnadsverk från mitten och slutet av 1800-talet byggdes med slaggcement. T.ex. tunnelbanesystemet Metron i Paris.

Slaggcementets egenskaper är väl dokumenterade under lång tid. Oberoende om slaggen separatomals (GGBS) eller produceras till färdigt cement, får ”bindemedlet” i betongen samma egenskaper.

Principiellt kan mald granulerad masugnsslagg användas som bindemedel på två sätt:

1. Masugnsslaggen levereras till cementindustrin som sam-/separatomaler slaggen för tillverkning av olika cementtyper.
2. Masugnsslaggen separatomals och marknadsförs som ett mineraliskt tillsatsmaterial. Internationell beteckning GGBS.

I Europa används slag i huvudsak enligt punkten 1. England har sedan slutet av 70-talet haft en omfattande användning av GGBS i konventionell betong. I övriga europeiska länder har GGBS används i mindre skala. I Sverige och Finland har produktionen av GGBS legat kring 30.000 ton/år under de senaste 15 åren.

SSAB Merox har tillverkat GGBS sedan början av 80-talen. Produkten, kallad Merit 5000, utvecklades i första hand för att få optimala flytegenskaper/reologi hos golvavjämningsmassor, men också med tanke på korttidshållfasthet för betongprodukter. Största enskilda tillämpningen för Merit 5000 har varit i golvavjämningsmassor. Totalt har ca 1,3 miljoner ton avjämningsmassor tillverkats, baserat på Merit 5000.

Under de senaste åren har en ökad användning av Merit 5000 skett inom markstabilisering/solidifiering och för att binda tungmetaller, i första hand kvicksilver. Denna utveckling har skett i samarbete mellan Cementa och SSAB Merox. Idag används Merit 5000 bland annat som specialbindemedel för att binda kvicksilver i filteraska från krematorier.

Fördelarna med GGBS jämfört med slaggcement är flexiblare recepturer, där även andra aktiveringsmedel och tillsatsmaterial lätt kan kombineras. T.ex. är avjämningsmassor i mycket hög grad baserade på aluminatcement. Vid markstabilisering/solidifiering/sanering kan lätt blandförhållanden och tillsatsmaterial ändras på basis av förprovning och variationer i fält.

Produkter för anläggningsverksamhet

Hyttsten

Hyttstens unika egenskaper är framför allt lägre värmekonduktivitet och högre bärighetsegenskaper än traditionella vägbyggnadsmaterial, egenskaper som gör att vägen kan byggas tunnare. Ett ton Hyttsten kan ersätta upp till tre ton traditionella material, genom att man även sparar schakt. Idag utnyttjas också hyttstens högre bärighetsegenskaper för att möta en framtida högre trafikbelastning.

Merolit

Merolit är en ”markbetong/vältbetong” helt baserad på masugnslaggprodukter. Används i huvudsak till hårt belastade industriytor samt hårdgjorda ytor inom jord- och skogsbruk.

Hyttsand

Hyttsand används som lättbalast vid framför allt ombyggnation. Hyttsand ersätter här traditionella lättbalastmaterial som cellplast och lättklinker. Hyttsanden har en mycket stor fördel i att den kan trafikeras vid byggnation, vilket traditionella material ofta inte klarar.

Merit 5000/GGBS

Merit används på anläggningssidan främst inom masstabilisering av organogena jordarter (torv, gyttja) och som tillsatsmaterial till asfaltbetong för att höja vidhäftningen till ballasten.

Jordförbättringsmedel

M-kalk är ett kalk- och jordförbättringsmedel baserat på mald Hyttsten. M-kalk är, förutom att vara ett rent kalkningsmedel, även ett magnesium-gödselmedel. Innehållet av mangan och kisel är också positivt ur näringssynpunkt. M-kalk är kravgodkänd.

Miljö/Sanering

Masugnsslagg har förmågan att binda fosfor och vissa metaller, främst kvicksilver, kadmium och bly, genom kemiska reaktioner. Detta kan utnyttjas i olika tillämpningar som filter, barriärer, bindemedel vid solidifiering m.m. En intensiv forskning och utveckling pågår för närvarande kring masugnsslaggens och även andra restmaterials sorptionsegenskaper.

Andra applikationer

Underlag för ridbanor, Paddex; En hyttstensprodukt från SSAB Merox som marknadsförs och säljs över hela landet.

Bäddsand för fluidiserande pannor: Mycket positiva resultat från driftförsök med produkter framtagna från Hyttsand. En utveckling som har skett i samarbete med Ångpanneföreningen och CTH. Denna användning är dock fortfarande i utvecklingsstadiet.

Sandningssand för halkbekämpning: En hyttstensprodukt som har mycket hög friktion och lång livslängd/funktion på vägen.

Masugnsslagg kan också utgöra råvara för andra applikationer som t.ex. mineralullstillverkning. Masugnsslagg har tidigare använts som råmaterial vid framställning av mineralull i Sverige.

En kvantitativ översikt av masugnsslaggens olika applikationsområden återfinns i tabell 3.

Tabell 3 Tabellen visar mängderna av masugnsslagg till olika produktområden från Sveriges två masugnar.

| Mängd masugnsslaggprodukter per produktområde idag | Oxelösund | Luleå |
|--|-----------|---------|
| | kton/år | kton/år |
| Cement och byggnadstekniska bindemedel. | 50 | 0 |
| Produkter för anläggningsverksamhet | 150 | 300 |
| Jordförbättringsmedel | 10 | 0 |
| Miljö/Sanering | 10 | 0 |
| Andra applikationer | 80 | |

3.2.3 Miljöaspekter

Råmaterialen till masugnsslaggen genomgår en fullständig kalcinering i masugnprocessen och får därigenom stor likhet med cementklinkertillverkning. I likhet med cement är kalcineringsprocessen till viss del reversibel och produkter av masugnsslagg tar även de upp CO₂ under användningsfasen, dock i mindre grad än cement tillverkad från klinker.

Vid användning av masugnsslagg kan reduktionspotentialen av CO₂ beräknas dels utifrån kemisk stoikiometri, dels utifrån ekvivalent funktionell enhet. Med ekvivalent funktionell enhet menas t.ex. en mil färdig väg, ett specifikt saneringsobjekt etc.

Vid beräkning av reduktionspotentialer för slagg är det viktigt att göra detta utifrån ett systemperspektiv. Kalksten (CaCO₃) tillsätts masugnen som slaggbildare. Detta innebär att även för slaggen drivs CO₂ av från materialet så i detta avseende skiljer sig inte slagganvändningen från klinkerproduktionen i så stor utsträckning. Energiförbrukningen och därmed CO₂-emissionen kan dock bli lägre genom att slaggen kan användas två gånger, dels för att först producera järn sedan en andra gång vid cementtillverkning. CO₂-emissionerna kan således delas mellan ståltillverkningen och användningsapplikationerna som t.ex. cementproduktionen.

I andra tillämpningar med masugnsslagg är reduktionspotentialen inte lika uppenbar, som t.ex. vid anläggningverksamhet. Men även här kan reduktionspotentialen bli betydande genom att t.ex. ersätta traditionella lättbalastmaterial, vilket ger mindre CO₂-utsläpp vid produktionen samt möjlighet att trafikera under byggnation vilket ger kortare transporter och även det mindre CO₂-utsläpp.

Nya bindemedel baserade på GGBS för solidifiering och sorption är ett bra exempel på ekvivalent funktionell enhet, då alternativet till att solidifiera och fastlägga med hjälp av dessa bindemedel är att gräva upp stora mängder material och transportera bort dessa, i många fall långt, för deponering eller destruktion. Det senare förfarandet leder till stora transportrelaterade CO₂-utsläpp, samt stora sår i naturen.

Naturligtvis utgör en viss mängd masugnsslagg ett bra komplement till andra råvaror och en bra CO₂-besparing men då masugnsslaggen även har andra unika egenskaper vilka är värdefulla, vore det olyckligt om all masugnsslagg gick till cementproduktion då dessa andra egenskaper är svåra att ersätta.

3.2.4 Marknadsaspekter på slagganvändning vid cementtillverkning

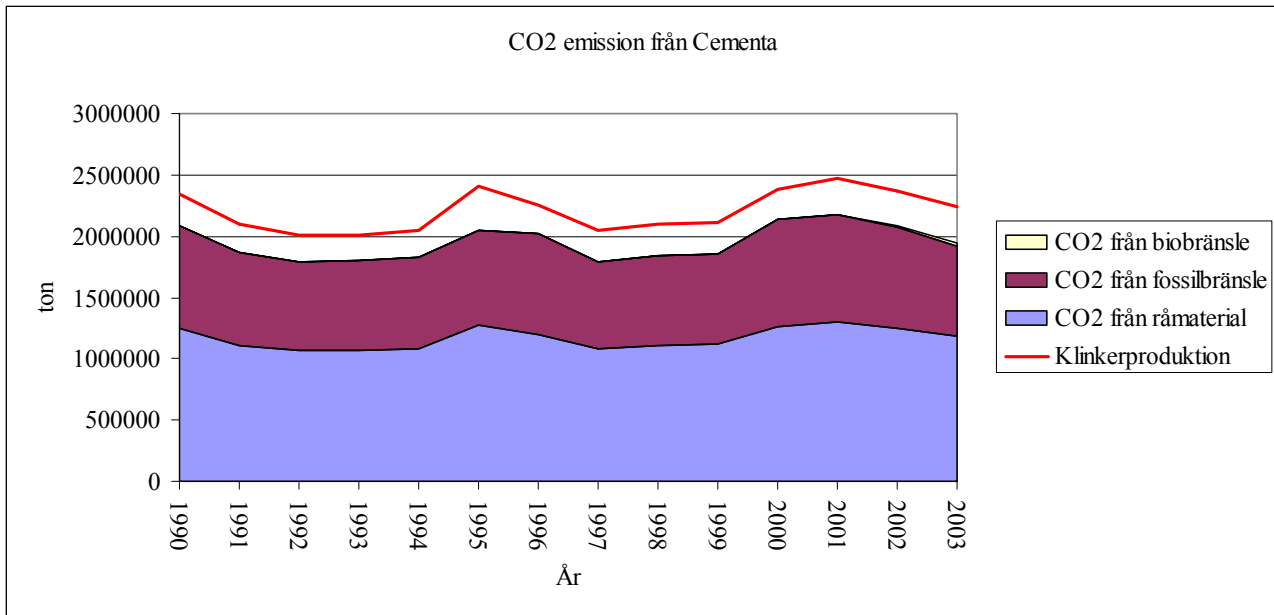
På den Nordiska marknaden finns tre producerande företag av slagg för cementindustrin: SSAB/Merox i Sverige, Rautaruukki i Finland och Cherepovets i Ryssland. Slaggen använd som råmaterial vid klinkerproduktion, som tillsats i cementen eller som separat tillsats för inblandning i betong. Marknaden har aldrig varit särskilt stor och uppnått högst några procent av den totala cementproduktionen. Från slutet av 1970-talet till slutet av 1980-talet tillverkades i Köping ett cement med 65 % GBS från SSAB i Oxelösund. Cementen (massivcement) användes till dammbyggen i vattenkraftverk och till mycket tjocka väggkonstruktioner. Försäljningen var låg, ca 20 kton/år, då få vattenkraftverk byggdes under 1980-talet. Sprickbildningar kunde senare hittas i konstruktionerna, troligen beroende på höga fukt- och temperaturgradienter. Från 1950 till 1974 tillverkades ett cement med 50 % GBS under namnet ”vulkacement”. Senare reducerades mängden slagg till 25 % för att förbättra gjutegenskaperna vintertid. Idag tillverkar Cementa i Slite vissa byggcement med ca 3 % slagginnehåll.

I Finland tillverkades ett cement med 50 % slagg under 1950- och 1960-talen för tunga infrastrukturapplikationer och fungerade väl för dammkonstruktioner i norra Finland. Produktionen lades ner när marknaden försvann. Försök gjordes med produktion av ett cement med 70 % slagg men detta nådde aldrig några stora volymer. Det enda slagginnehållande cement som Finnecement producerar och som accepteras på marknaden idag är ett cement med 10 % slagginnehåll.

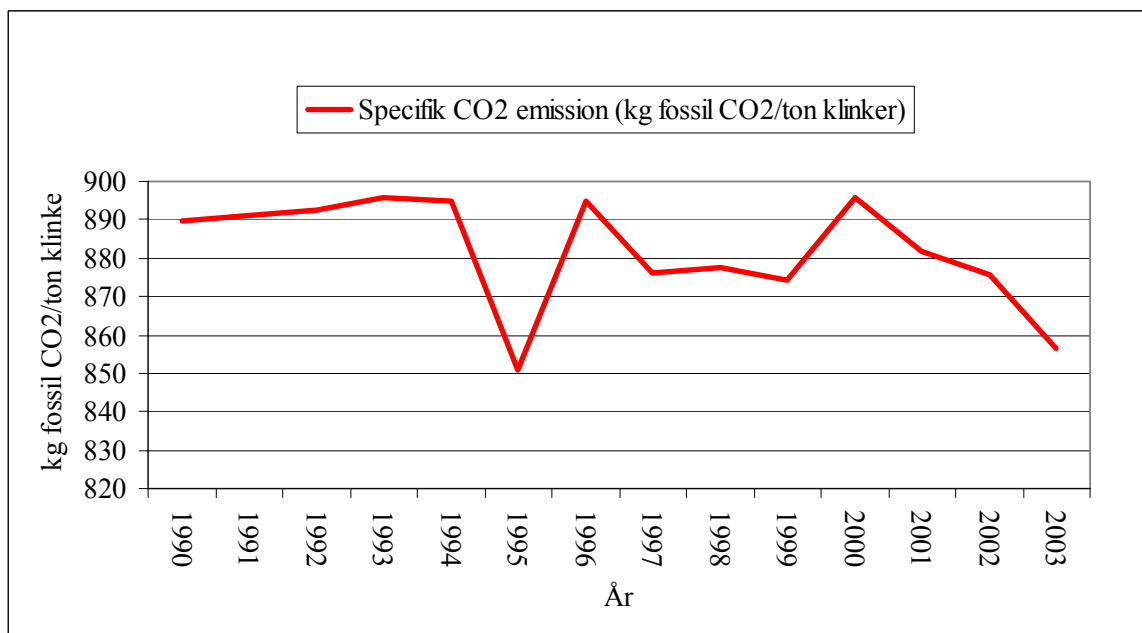
3.3 Tekniska reduktionsmöjligheter för koldioxid

Energieffektiviseringen inom cementproduktionen har pågått under lång tid då kostnaden för energi är en betydande kostnadspost. Energianvändningen har minskat inom EU från ca 6 GJ/ton klinker i början av 1960-talet till 3,7 GJ/ton klinker år 1990. En modern standardugn med dagens bästa teknik har en energianvändning av ca 3,0-3,2 GJ/ton klinker. Cementas produktion sker redan idag i denna ugnstyp. CO₂-emissionen från produktionen kommer både från kalcineringen av råmaterialet och från energigenereringen. Den största delen kommer faktiskt från råmaterialet vilket framgår av figur 5. Figuren visar utvecklingen av CO₂-emissionen från Cementa mellan år 1990 och 2003. Som framgår speglar CO₂-emissionen klinkerproduktionen relativt väl. Reduktioner av CO₂-emissionen till följd av processförändringar har varit små under tidsperioden. Användningen av biobränsle är också mycket låg dock ökande de senaste åren. Biobränsleanvändningen har till största delen bestått i användning av olika organiska restprodukter. Den specifika CO₂-emissionen har varierat under perioden mellan 850-896 kg CO₂/ton klinker, figur 6. De senaste åren, har som framgår, den specifika emissionen visat på en fallande tendens.

Utöver energianvändningen genom bränsleförbränningen förbrukas också ca 90-130 kWh elenergi per ton cement (0,324 - 0,468 GJ el/ton cement). Detta motsvarar ca 10-15 % av energiförbrukningen genom fossilbränslen.



Figur 5 Cementsa totala CO₂-emission för åren 1990-2003 uppdelat på CO₂ från råmaterial, fossilbränsle och biobränsle. Som jämförelse har även korresponderande klinkerproduktion lagts in.



Figur 6 Specifik CO₂-emission från Cementsa för åren 1990-2003.

En grov internationell jämförelse har gjorts av M. Åhman [7] där några nyckelparametrar har jämförts mellan olika länder eller regioner, tabell 4. Observera att CO₂-emissionen och energianvändningen är angiven per ton cement och ej per ton klinker som gjorts ovan. En omräkning till klinkerproduktionen har gjorts i den undre tabellen. Beräkningarna här visar då på en specifik CO₂-emission för Sverige på 899 kg CO₂/ton klinker vilket är i paritet med värdena i figur 6. Som framgår ligger de svenska specifika CO₂-emissionerna lågt i en internationell jämförelse. Två faktorer är viktiga dels energianvändning/CO₂ vid klinkerproduktionen dels mängden klinker som används i cementen. Mängden klinker påverkar kvaliteten på cementen. I Japan arbetar man både med ett lågt klinkerinnehåll och en låg energiförbrukning vid klinkertillverkningen. Det senare uppnås genom en effektiv produktion med moderna anläggningar. Den svenska produktionen ligger dock inte långt efter. I USA är andelen processer med våta metoder högt vilket ger en ökad energianvändning. I detta sammanhang är det dock viktigt att påpeka att vid ett lågt klinkerinnehåll ersätts klinker med annat material. Vid en komplett jämförelse i ett systemperspektiv skall givetvis hänsyn tas till produktion av dessa kompletterande material. Dessa material har ju också en energiförbrukning och en CO₂ emission vid tillverkningen även om tillverkningen av dessa material inte sker i direkt anslutning till cementtillverkningen. I länder med kallt klimat behöver cementen vara snabbare och ha tidig hållfasthet. Detta minskar potentialen för att sänka klinkerandelen jämfört med varmare länder, trots att malfinheten är högre.

Tabell 4 Jämförelse av nyckelparametrar för cementtillverkning⁷.

| Indikatorer | kg CO ₂ /kg cement ^a | GJ/ton cement ^c | Klinker/cement ^a |
|-------------|--|----------------------------|-----------------------------|
| Japan | 0,73 | 3,1 | 0,80 |
| USA | 0,99 | 5,25 – 5,5 ^d | 0,88 |
| Europa | 0,84 | 4,1 | 0,81 |
| Sverige | 0,80 ^b | 3,65 ^b | 0,89 ^b |

^a Uppskattade siffror från WBCSD (2002).

^b Egna beräkningar baserade på inskickade miljörapporter till länsstyrelser

^c Worrell et al 2001, avser situationen 1994

^d Högre värde avser uppskattning av van Oss (2000)

| Indikator | kg CO ₂ /ton klinker | GJ/ton klinker |
|-----------|---------------------------------|----------------|
| Japan | 913 | 3.88 |
| USA | 1125 | 5.97-6.25 |
| Europa | 1037 | 5.06 |
| Sverige | 899 | 4.10 |

För den största produkten på svensk marknad, Byggcement, uppgår specifik CO₂-belastning till 0,7 kg CO₂/kg cement med en klinkerfaktor på drygt 0,8 kg klinker/kg cement.

Som har framgått är den svenska cementproduktionen modern med låg energianvändning, låga CO₂-emissioner och låg miljöpåverkan. Industrin är utrustad med den bästa standardtekniken för klinkerugnar (roterugn med 5-steps cyklonförvärmare och integrerad förkalcinering). Endast torra processer används i Sverige. Finns det då någon möjlighet till ytterligare förbättringar?

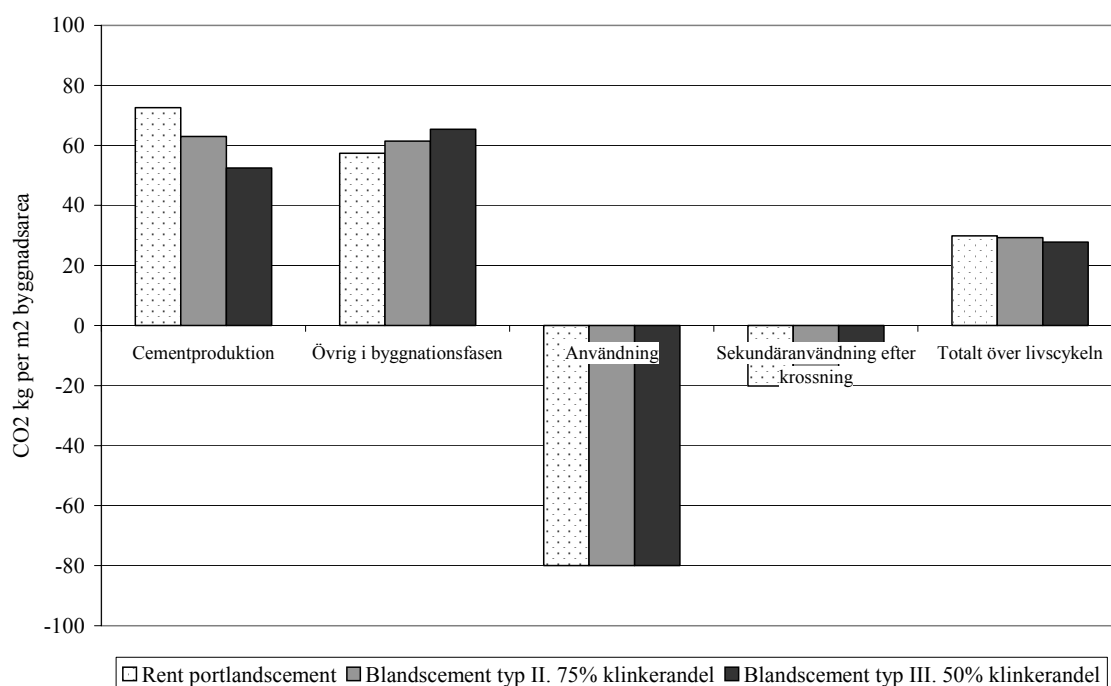
I princip finns det tre möjliga angreppsmöjligheter: att reducera energianvändningen, byte av bränsle och att reducera mängden klinker i cementen. Reduktion av mängden klinker i cementen reducerar CO₂-emissionen från både råmaterialet och från energiproduktionen medan energieffektiviseringar och bränslebyte endast påverkar emissionen från bränsleförbränningen.

⁷ Åhman Max, Den svenska cement- och kalkindustrin — konsekvenser av EU:s system för handel med utsläppsrätter, IMES/EESS Rapport nr:55, Avdelningen för miljö- och energisystem Lunds tekniska högskola, December 2004.

Därtill kommer även upptag av CO₂ under användningsfasen av cementen s.k. karbonatisering vilket också bör beaktas. Detta är kopplat till hur mycket klinker som använts i cementen och påverkas ej av energieffektiviseringar.

Den ökade användningen av alternativa bränslen från restmaterial ökar i vissa fall energiförbrukningen något genom att en högre syrehalt krävs i processen eller att själva restmaterialet ger mer förbränningsgaser specifikt. Den specifika rökgasmängden ökar och energiförlusten (avgasförlusten) ökar genom att värmeväxlingen med ingående råmaterial inte kan ta upp hela ökningen av energin från de ökade rökgasmängderna.

Vid en analys av reduktionsmöjligheter eller vid en beskrivning av statusläget för cement måste hänsyn tas till helheten i ett systemperspektiv. Hela systemet för cementanvändning inkluderande råvaruanvändning, tillverkning av cement, användningsfasen för cement samt kvittblivningen eller sekundär användningen efter den egentliga livstidens slut måste beaktas. För att få ett begrepp om storleksordningar och proportioner för en cementapplikation visas en översiktsbild över CO₂ balansen per byggnadsyta ur ett systemperspektiv⁸. Figuren visar CO₂-emission och upptag av CO₂ under en betongbyggnads hela livscykel. Cementproduktionen liksom användningsfasen och sekundär användningsfasen efter livstidens slut har särredovisats i figuren. Resultat visas för cement med tre olika andel klinker.



Figur 7 CO₂-emission och upptag av CO₂ under en betongbyggnads hela livscykel. Cementproduktionen liksom användningsfasen och sekundär användningsfasen efter livstidens slut har särredovisats i figuren. Figuren visar LCA-resultaten för cement med olika andel klinker.

⁸ Resultat från Livscykelanalys, LCA, beräkningar.

Energieffektiviseringar

Den svenska produktionen är mycket energieffektiv men det kan ändå vara möjligt att åstadkomma mindre energireduktionsåtgärder t.ex. genom bättre styrning och reglering av ugnarna. Den största potentialen är dock redan utnyttjad då Cementa sedan länge infört avancerad datastyrning bl.a. fuzzy-logic-styrning.

Ett annat exempel på möjlig förbättring är att modifiera (CFD-modellering är genomförd) kalcinatorn (reaktor/ugnsdelen) där kalkstenens CO₂ drivs av, så att alternativbränslena kan förbrännas med lägre luftöverskott samt förbättrad värmeväxling i cyklontornet (förvärmaren). Detta bedöms kunna sänka energiförbrukningen 3 % med god lönsamhet. Potential för ytterligare sänkningar är låg. En ökad energieffektivisering ger ofta också en högre produktion då produktionen begränsas av rökgasmängden och därmed ökar de totala CO₂-utsläppen.

Bränsleförändringar

Idag används främst (2/3-delar) kol och petroleumkoks som bränsle till cementugnarna. Då cementugnarna är belägna på Gotland, Öland och i Skövde kan man inte räkna med tillgång till naturgas. Däremot är det möjligt att använda andra bränslen med ett lägre C/H-förhållande som eldningsolja eller LPG (Gasol, propan-95). En något ökad användning av biobränsle skulle också vara möjlig. Användningen av olika avfallsbränslen har också ökat för cementugnarna. Genom att flytta bränslen från deponi till förbränning sker också en betydande reduktion av CO₂.

Cementugnar är mycket väl lämpade för förbränning av definierade avfallsbränslen beredda ur restprodukter som ej kan materialåtervinnas. Rent systemtekniskt är det fel att cementindustrin skulle använda exklusiva biobränslen som t.ex. flis som hellre borde brännas i andra enklare anläggningar eller ännu hellre helt och hållet förädlas till papper. Allmänt påverkar askan (alkali, sulfat och klorider) cementkvaliteten negativt och mängden biobränslen som kan tillsättas begränsas av detta. Dessutom är prisnivån för hög för att kunna möjliggöra konkurrens på exportmarknaden.

En ökad potential för biobränslen föreligger dock i alternativa bränslen som delvis innehåller biobränslen. Det är dock inte klart om bio-andelen i blandade bränslen kommer att betraktas som CO₂-neutrala i handelssystemets rapporteringsregler. Kostnadsänkningen av alternativbränslet äts delvis upp av att klinkerproduktionen minskar då ugnarna ofta är kapacitetsbegränsade på rökgassidan och ökad alternativbränsleledning ökar rökgasmängden.

Reduktion av klinkerinhållet i cementen

Potentialen ligger i en övergång (förutsatt att marknaden kan acceptera detta) från byggcement till ett typ II A-M där slagghalten kan ökas med drygt 10 % och klinkerandelen minskas med 5 %, vilket skulle öka CO₂-effektiviteten med 44 kton CO₂ per år. I dagsläget finns inget överskott av granulerad masugnsslagg i Sverige. Produktutveckling av nya produkter med slagg och cement inom solidifiering, sanering, millfill, masstabilisering väntas få en ökad användning. SSAB/Merox planerar att bygga ut slagg-granuleringskapaciteten år 2010/2011 och skulle då tillföra 120 kton på marknaden som har potential att bl.a. gå till cementprodukter.

Potential för ökad användning av masugnsslagg vid cementtillverkning

Cementklinker består huvudsakligen av mineralet trikalciumsilikat medan masugnsslagg består av dikalciumsilikat. Båda mineralen ger hög sluthållfasthet men trikalciumsilikatet ger också hög tidig hållfasthet.

Förändringspotential: I vanlig cement kan slaggmängden i byggcement öka med 12 % medan klinkerandelen minskar 5 % till 75 % och kalkstenstillsatsen minskar 7 %. Malfinheten ökas för att kompensera bortfallet av klinker och den tidiga hållfastheten kan nästan bibehållas.

Potentialen för Byggcement är en ökning med ca 120 000 ton slagg med en övergång till IIA-M-cement vilket torde öka CO₂-effektiviteten med i storleksordningen 40 000-50 000 ton CO₂ för cementindustrin. I ett systemperspektiv kan dock tilläggas att den ökade CO₂-effektiviteten kan bli lägre då man förlorar i effektivitet i den alternativa användningen av den begränsade masugnsslaggmängden. En förutsättning för ökad slagganvändning är dock att man får marknadsacceptans för en sådan åtgärd.

Ingen potential ses i snabbcement eller anläggningscement p.g.a. tidiga hållfasthetsegenskaper och beständighets-/frost-egenskaper. I exportcement ses inte heller någon potential direkt men kan eventuellt komma längre fram i tiden beroende på marknaden och dess utveckling.

Det finns även nya och befintliga produkter med slagg och cement som bindemedel för solidifiering, sanering, masstabilisering och millfill, som förväntas öka.

En sammanfattning av dagens användning och en framtida potentiell användning av granulerad masugnsslagg (GBS) ges nedan.

Användning idag:

Mald ren GBS, Merit 5000, för bl.a. spackel: 25 kton.

I konventionell cement: 25 kton

Inget överskott på GBS finns idag från masugnarna.

Framtida potential:

I konventionell cement i Sverige, potentiell ökning 120 kton.

Nya miljöanpassade (bl.a. CO₂) produkter inom bindemedel (masstabilisering m.m.) på sikt >150 kton.

Detta förutsätter dock en ökad kapacitet. Planer på utökad granuleringskapacitet finns i Oxelösund till år 2010/2011 med ca 120 kton.

Betongproduktion

När cement produceras laddas det med energi som återfås i den reaktion med vatten som gör att betongen hårdnar.

- Ju mer cement i betongen desto mer energi finns att tillgå.
- Finmalet cement reagerar snabbare än grovmalt.
- Ju större andel klinker i ett cement desto mer värme utvecklas.

Energien kommer till nytta för att höja produktivitet och minska miljöbelastning vid produktionen genom att

- tiden till belastning av konstruktionen minskas,
- den energi som utvecklas av materialet ersätter andra energikrävande åtgärder på byggplatsen, i synnerhet vintertid (Dataprogrammet 'HETT' Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond 1997) och att
- uttorkningen av betongen påskyndas och energikrävande yttre åtgärder för uttorkning undviks. ('Uttorkning av betong – Inverkan av cementtyp, betongkvalitet och omgivande fuktförhållanden' N. Johansson, LTH, avd. Byggnadsmaterial. Rapport TVBM-3124, 2005)

Ett exempel: Uttorkning av betongbjälklag med yttre metoder (infravärme, byggtork el. dylikt) kräver i genomsnitt 21 kWh/m² i svenskt klimat. ('LCA of Building Frame Structures'. Rapport 1996:8, Teknisk Miljöplanering, Chalmers. 1996). Vid användning av lättoljebrännare ger det cirka 8 kg CO₂ per m². Motsvarande effekt nås genom ökning av cementhalten från 295 till 360 kg per m³ betong motsvarande ökningen 6,5 kg cement per m² bjälklag, enligt fältstudie (referens LTH, ovan). Cementhaltsökningen ger därmed ett tillskott av CO₂ emission < 5 kg/m² byggnadsyta d.v.s. enbart drygt hälften av alternativ yttre metod. Om andelen cementklinkern i cement minskas så minskas också det inneboende värmemagasinet, vilket i svenskt klimat ofta leder till att yttre värme måste tillföras för att nå tillräckligt snabb hållfasthetstillväxt och uttorkning av konstruktionerna. Ett alternativ till cementhaltsökning är att välja finmalt cement utan inblandning av tillsatsmaterial. Flera betongtillverkare byter t.ex. från Byggcement till SH-cement vintertid.

Betongens beständighet och kvalitet

Mängd och typ av cement har mycket stor betydelse för en betongkonstruktions förmåga att motstå nedbrytning. I aggressiva miljöer, som vid tösaltning, har forskning och erfarenhet visat att rena cement utan eller med ringa inblandning av tillsatsmaterial krävs om avsedd livslängd ska uppnås. ('Betong – Användning av EN 206-1 i Sverige', SS 13 70 03). Vägverket ställer av detta skäl ett tvingande krav på denna cementtyp för sina broar och liknande konstruktioner.

En ökning av cementhalten i betongen ger också direkt utslag i form av förlängd livslängd. Om cementhalten i en konstruktion t.ex. ökas med 25 kg från 275 till 300 kg cement per m³ betong, så ökar livslängden från 50 till 100 år. ('Betongkonstruktioner – Täckande betongskikt', SS 13 70 10).

Sammanfattningsvis kan alltså sägas att en minskning av cementhalt i betong eller byte mot cement med lägre andel cementklinker kan medföra att

- energiintensiva åtgärder på byggsplats för att nå tillräcklig hållfasthet och/eller uttorkning krävs och att
- konstruktionens beständighetsegenskaper påverkas negativt.

Användning av restvärme för extern uppvärmning - fjärrvärmeanvändning

Idag används den största delen av spillvärmes från tillräcklig temperatur från cementugnarna till fjärrvärme och elgenerering. Fjärrvärmeleveranser i Slite och Skövde började på 1980-talet och el från Slite i början av år 2000. Slite producerade år 2004 16 GWh fjärrvärme och Skövde 2 GWh. Dessutom producerade Slite, i samarbete med Vattenfall, 21 GWh el år 2004. Visst ökat utnyttjande är möjligt i Slite på elsidan och Skövde har potential att bygga ut fjärrvärmeeffekten ett par MW och fjärrvärmeunderlag finns i kommunen.

Upptag av CO₂ i användningsfasen

Cement tar upp CO₂ under och efter användningsfasen genom den kemiska process som kallas karbonatisering, vilket redan tidigare påpekats. I princip är detta den reversibla effekten av kalcineringen där CO₂ frigjordes vid omvandlingen från kalksten till cement. Detta har utretts i en nordisk studie⁹ som ännu inte är avslutad och i en dansk rapport för den danska energistyrelsen [10].

Vid slutet av livscykeln kan ibland en betongkonstruktion återanvändas. Detta är vanligt för produkter som trottoarplattor eller takpannor och i vissa fall även större element. Vanligen krossas dock betongen och efter mellanlagring kan materialet användas vid markbyggnad som ersättning

⁹ CO₂-uptake during concrete life cycle, Nordisk Industrifond, P656.

¹⁰ Claus Pade, Helge Hansen, Mette Glavind, CO₂-Uptake in Concrete, Mortar, and Burned Clay Products, Rapport för Energistyrelsen i Danmark, Amaliegade 44, 1256 København K, Danmark (2005).

för jungfruliga material eller som ballast i ny betong. Särskilt lämpligt är krossad betong som material för vägar med stora belastningar.

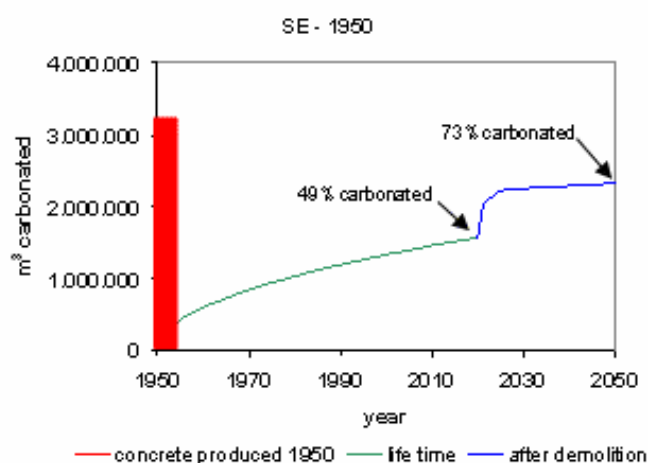
Undersökningar har visat att cement tar upp CO₂ relativt långsamt. Absorptionshastigheten beror bl.a. på vattenhalten i betongen och betongens tjocklek (exponeringsyta). Om däremot betongen krossas, vilket är brukligt vid återvinning efter livstidens slut, sker en hastig karbonatisering beroende på en ökad exponeringsyta. Accelererade tester har visat att 75 % av CaO i cementen karbonatiserades inom några veckor efter krossning. Ett försiktigt antagande torde då vara att en 75 %-ig karbonatisering uppnås vid krossning efter några år. I tabell 5 visas antagna karbonatiseringsgrader för olika år från den danska studien tillsammans med beräkningar av det svenska potentiella CO₂ upptaget för cement producerat under år 2003.

Tabell 5 Beräknad mängd CO₂-upptag från cement producerad i Sverige under år 2003.

| År efter produktion | 1 år | 50 år | 100 år |
|--|---------|---------|---------|
| CaO in cement, vikt-% | 65 | 65 | 65 |
| CO ₂ upptag (% av möjlig potential 1)) | 4 | 29 | 75 |
| Total CO ₂ från råmaterialet vid svensk tillverkningen under år 2003, ton | 1180536 | 1180536 | 1180536 |
| CO ₂ -upptag under användningsfasen, ton | 47221 | 342355 | 885402 |

1) Möjlig potential har satts till avdriven mängd under tillverkningen.

CO₂ upptag i betong under användningsfasen och vid krossning har kvantifierats i projektet 'CO₂-Uptake during the concrete life cycle', P656, som stöds av Nordisk Industrifond. Figur 8 har hämtats från detta arbete och redovisar hur de dryga 3 miljoner m³ betong som tillverkades i Sverige ett specifikt år, 1950, upptar CO₂ under och efter sin användningstid. Diagrammet visar att efter en genomsnittlig livslängd på cirka 70 år och efterföljande krossning har drygt 70 % av betongen karbonatiserats. Utslaget över livstiden motsvarar detta cirka 1 % per år. Med en långsiktig årlig användning av cirka 1,4 miljoner ton cement och en medellivslängd på 70 år, finns det 100 miljoner ton cement i omlopp i Sverige. Dessa har vid kalcineringen avgett cirka 500 kg CO₂ per ton. Vid 1 % karbonatisering upptas därmed $0,01 \times 100.000.000 \times 0,5 = 500.000$ ton CO₂ per år.



Figur 8 Figuren visar hur den cement som tillverkades i Sverige under år 1950 tar upp CO₂ under och efter dess livslängd.

Värmelagringskapacitet för tunga konstruktioner i byggnader^{11 12}

Konstruktionsmaterials inverkan på energianvändningen i byggnader har studerats av bl.a. Mats Öberg vid Lunds Universitet och Cementa AB. Här framkommer en CO₂- och energireduktionspotential hos byggnader byggda i betong, i jämförelse med andra lättare byggnadskonstruktioner, under byggnadens användningsfas/livstid. Nedan redovisas ett räkneexempel på denna besparingspotential. Det bör dock påpekas att en byggnads energiegenskaper beror på många konstruktionsfaktorer varav detta är en. Därtill kommer läges- och klimatfaktorer.

Byggnadsmaterial påverkar en byggnads energibehov genom dess kapacitet att lagra och avge överskottsvärme. Effekten är störst i perioder med stora skillnader i energibehov över dygnet, d.v.s. vår och höst. Säsongsutjämning kräver särskilda åtgärder och tillämpas f.n. sällan i normala bostäder och kontor.

Ett materials värmelagringskapacitet är beroende av dess densitet och specifika värme. Ett tungt hus, med stomme av exempelvis betong eller murverk lagrar därför mer energi än ett lätt hus. För att ge ett enkelt och representativt exempel kan vi betrakta bostadshus:

En mängd jämförande beräkningar och uppmätningar har gjorts såväl i Sverige som i andra länder. Hietamäki et al (2005) har gått igenom en lång rad studier och anger att för ett hus där inga särskilda åtgärder för att utnyttja värmelagringen görs, så är skillnaden i energibehov mellan ett lätt och tungt hus 2 till 15 %. Vidare noteras att i ett nordeuropeiskt klimat är skillnaden mellan ett mycket lätt och ett mycket tungt hus cirka 10 %. Normalt energibehov för ett modernt svensk bostadshus är 150 kWh/m²,år. Av detta relateras cirka 2/3 till rumsuppvärmning.

En konservativ uppskattning av värmelagringseffekten är därmed 3 kWh/m²,år, till det tunga husets fördel. Med en medellivslängd för ett bostadshus i Sverige på 140 år innebär detta en besparing av 420 kWh/m² under husets livstid. (Bestånd: 4.3 miljoner lägenheter, nyproduktion: 35.000 lägenheter/år).

Fjärrvärme med svensk mix ger upphov till cirka 30 g fossil CO₂/MJ. Skillnaden mellan ett tungt och ett lätt bostadshus är därmed $30 \times 3,6 \times 420 = 45 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2$.

Dessa siffror kan ställas i relation till den totala energi som fordras för att producera ett svenskt flerbostadshus, ca. 1000 kWh/m² enligt Adalberth (2000) motsvarande cirka 90 kg CO₂/m².

Sammanfattningsvis ger värmelagring i ett ordinärt tungt hus ett minskat energibehov och CO₂-utsläpp motsvarande i storleksordningen hälften av CO₂-utsläppet vid hela produktionen av byggnaden.

Värmelagringen ger också genomslag i lägre effektbehov. En byggnads värmesystem kan dimensioneras för lägre topeffekt och belastningen på kraftnätet blir avsevärt lägre ('Dimensionerande utetemperatur – Byggnaders effektbehov' SS 024310). Vid eventuellt avbrott i försörjningen av värme eller kyla håller en tung stomme gott klimat under lång tid (dygn) jämfört med en lätt stomme (timmar).

¹¹ Adalberth, K. (2000) Energy Use and Environmental Impact of new Residential Buildings Lunds Tekniska Högskola. Avd. Byggnadsfysik. Doktorsavhandling Rapport TVBH-1012. Lund, 2000.

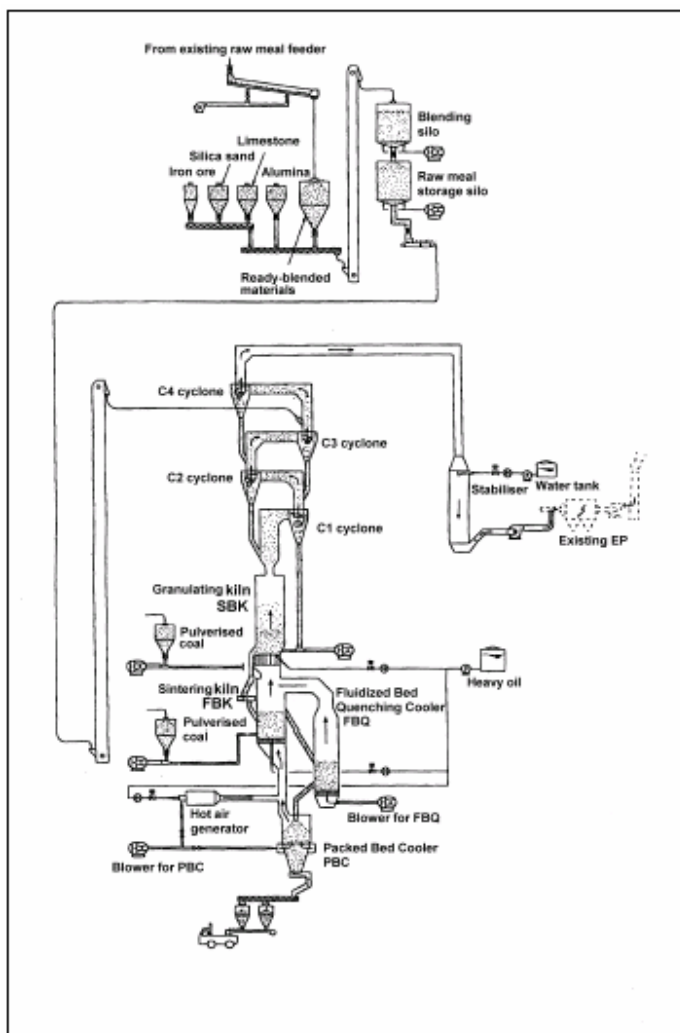
¹² Hietamäki, T., Kuoppala, J.-M., Kalema, T. Taivalantti, K. (2005) Thermal mass of buildings – Central studies and their results. Tampere University of Technology. Inst of Energy and Process Engineering. Tampere. 2005.

Tack vare lågt effektbehov öppnar tunga byggnader för användning av lågvärdig energi (Låg-exergi system) som solfångare och liknande.

Slutligen kan också poängteras att temperaturkomforten i en tung byggnad på ett enkelt sätt säkerställs genom värmelagringen. Behovet att installera komfortkyla minimeras.

Framtidsutblick - Forskningsbehov och framtida utvecklingspotentialer

Några större processförändringar av själva cementtugnarna kan inte förväntas under den analyserade tidsperioden fram till år 2020. Ett utvecklingsarbete pågår dock med att ta fram en ny typ av cementtugn som bygger på en fluidiseradbedd-teknik. Utvecklingen av denna teknik sker i Japan och en pilotanläggning finns som har visat på goda testresultat. Huruvida denna teknik kommer att slå igenom återstår att se. En schematisk bild av en sådan anläggning visas i figur 9. Denna teknik har beräknats ge en energi- och CO₂-reduktion på 10-12 % jämfört med dagens teknik med bibehållen cementkvalitet. Det är dock troligt att sådana anläggningar byggs där ny cementproduktionskapacitet behövs varför Sverige inte kommer ifråga i första hand.



Figur 9 Cementtugn enligt den fluidiseradebedd-tekniken.

Forskningen kring möjligheterna att minska CO₂-utsläppen är fokuserad i första hand på energiproduktion vid förbränning av fossila bränslen. Nya processlösningar, ny teknologi, nya

bränslen o.s.v. har introducerats. Vid nybyggnation av kraftverk (Vattenfall) beaktas redan möjligheterna till mycket låga CO₂-utsläpp. Också möjligheterna att bygga om existerande kraftverk för minskning av CO₂-utsläpps har undersökts och genomförts. Man har konstaterat att för produktion av energi kan minskning genomföras bland annat på följande sätt:

- Förbättrad effektivitet i energianvändning i processerna.
- Övergång till mindre CO₂-intensiva bränslen.
- Energieffektivare teknologier.
- Övergång från fossila bränslen till alternativa bränslen.
- Reduktion av CO₂ genom separation samt nyttoanvändning eller deponi.

I det sistnämnda fallet där CO₂ efter separation används t.ex. i olika industriella processer medför oftast inte en nettominskning av utsläppen men genererar resurser som kan styras till utveckling och förverkligande av de metoder som innebär en verklig minskning av utsläppen. I tabell 6 ges en sammanfattning av möjligheterna till minskning av CO₂-utsläppen genom kvittblivning vid energiproduktion.

Tabell 6 Sammanfattning av tekniska möjligheter för kvittblivning av CO₂ vid energiproduktion.

| |
|---|
| Separationskoncept |
| Separation av CO ₂ ur bränsle före förbränning. Separation av CO ₂ ur rökgaser efter förbränning. Förbränning i syrgas med återcirkulation av rökgaser och därpå följande separation av CO ₂ ⁽¹⁾ |
| Separationsteknologier |
| Membraner Absorption Adsorption Kryotekniska lösningar Biotekniska lösningar ⁽²⁾ |
| Storvolym transport av separerad CO₂ |
| Tankfartyg Rörledning Tankbil |
| Nyttoanvändning eller deponering av CO₂ |
| Nyttoanvändningsområdena är stort till antalet och nya uppstår hela tiden. Deponering i akvifärer Deponering i uttömda oljekällor Deponering i kolformationer Havsdeponi Deponi genom mineralkarbonatisering |

1) Egentligen samma som ovanstående, nämns separat med hänvisning till IEA studie för cementindustrin från 1999 [PH3/7]

2) Nytt forskningsområde

CO₂-utsläppen från cementproduktionen kan härledas till två huvudsakliga källor:

- termisk sönderdelning av kalksten
- Förbränning av fossila bränslen

Av dessa är den termiska sönderdelningen av kalksten typisk för industrierna ifråga. Sönderfallsreaktionen för kalciumkarbonat (huvudbeståndsdel i kalksten) är nyckelreaktion för hela processen och utsläpp härrörande härur kan inte påverkas eller minskas utan minskning av produktionen. Beträffande minskning av CO₂-utsläpp från förbränningen av fossila bränslen kan samma principer som för energiproduktionen tillämpas, t.ex. övergång till mindre CO₂-intensiva bränslen såsom från kol till naturgas. Omfattande forskning kring förändringar i kemin och

processparametrar måste genomföras innan nya tekniker tas i bruk. Detta omfattar kemisk simulering för produktion och förbränningsförlopp samt processmodellering i och med processförändringarna.

För att tekniskt och ekonomiskt genomförbara utsläppsminskningar skall vara möjliga bör, liksom för energiproduktionen, anläggningarna granskas var för sig. Alla koncept är av praktiska skäl inte tillämpbara vid varje anläggning. Möjligheterna till ombyggnad av befintliga anläggningar är platsspecifika. Olika koncept är utredda för energiproduktionen och deras möjliga tillämpning på olika cementproduktionsanläggningar bör undersökas för att minska CO₂-utsläppen. Nya koncept och teknologier undersöks i dagsläget kontinuerligt, främst för energiproduktionen, och deras möjliga tillämpning vid cementproduktion har börjat undersökas (Brevik). Processer som omfattar syrgasförbränning och återcirkulation av rökgaser anses ha potential för minskning av CO₂-utsläppen och är troligtvis det billigaste alternativet för att möjliggöra deponi eller nyttoanvändning av CO₂. Möjligheterna till ombyggnad av befintliga cementfabriker för tillämpning av denna teknologi bör undersökas. Detta kräver bättre kännedom om kemin i processerna och de förändrade driftsparametrar i och med processförändringarna. Forskning i processmodellering och kemisk modellering är därför nödvändigt.

Nya teknologier för separation av CO₂ ur rökgaser utvecklas. Biotekniska lösningar där CO₂ separeras genom enzymkatalyserade reaktioner kan möjliggöra partiell rening av rökgaser med intern kretslopp av CO₂ i cementproduktionen. Processtekniska parametrar samt kemin för en sådan anläggning bör fastställas. Ytterligare måste nyttoanvändnings- och deponialternativ samt deras miljökonsekvenser utredas.

Dessa metoder för minskning av industriella CO₂-utsläpp från cementindustrin är idag enbart på grundforskningsstadiet. Kostnaden för reningsalternativen är beräknade till mellan 50-250 dollar /ton CO₂¹³ för oxyförbränningsteknologi medan separationsteknik med t.ex. aminer troligtvis är ett dyrare och processtekniskt svårare alternativ. På lång sikt, 2015-2030, kommer separationsmetoder för CO₂ även att tillämpas inom cementproduktionen men då bör tekniken ha utvecklats så att kostnadsnivån ligger på en nivå som inte avsevärt försämrar den svenska cementindustrins konkurrenskraft och leder till en prishöjning som kan accepteras av kunderna.

3.4 Ekonomiska analyser av reduktionsmöjligheter för koldioxid

Allmänt

Cementindustrin tillsammans med kalkindustrin tillhör de i särklass mest CO₂-känsliga branscherna. Ett ton byggcement kostar 600 kr och om det skall produceras för köpta utsläppsrätter för drygt 200 kr/ton CO₂ ökar kostnaden per ton cement med 150 kr per ton. För exportcement blir det ännu högre p.g.a. av högre klinkerandel. Detta innebär att cement inte kommer att tillverkas i Sverige med inköp av utsläppsrätter. Det är därför viktigt att tilldelning av utsläppsrätter kan ske så att också en ökad marknad kan försörjas med svensktillverkad cement. Uppåt hälften av den svenska cementproduktionen exporteras till marknader som ej handlar med utsläppsrätter (t.ex. Florida). Kostnaden kan ej föras vidare till kund. Blir tilldelningen för låg innebär det att produktionen flyttar utomlands då marknaden ändå efterfrågar volymen. Med befintliga anläggningar i Sverige innebär också vissa åtgärder för att minska CO₂-emissionen per ton cement att den totala produktionen måste ökas vilket innebär ökade totalemissioner av CO₂. Med tanke på detta är tilldelningen av utsläppsrätter för cementindustrin avgörande.

¹³ IEA International Energy Agency, PH3/7 (1999).

Biobränslen

Det bedöms möjligt att kunna öka alternativbränsleledning, genom investeringar i bl.a. hanteringsutrustning och lagerhallar, med delinnehåll av biobränsle motsvarande 10 000 ton kol i Slite. Om värdet av den minskade klinkerproduktionen uppvägs av kostnadsänkningen för biobränslet jämfört med kol blir reduktionskostnaden per ton CO₂ c:a 109 kr (6% ränta) respektive 142 kr (12% ränta) och CO₂-reduktionen uppskattas till 25 000 ton.

Energieffektivisering

3 % lägre energiförbrukning med förbättrad kalcinator och värmeväxling har en potential på 16 000 ton CO₂ till en kostnad per ton CO₂ på ungefär -65 kr (6% ränta) respektive 1 kr (12% ränta). Problemet är bara att samma investering ökar kapaciteten och netto erhålls en ökning av utsläppen med 63000 ton. CO₂-effektiviteten ökar i alla fall.

Ökad slagganvändning

Idag utnyttjas all fallande slag från masugnarna till olika produkter. Potential finns att öka slaggmängden med 120 kton tidigast år 2010/11 då SSAB planerar öka granuleringskapaciteten. Då slaggmängden i cement ofta är maximerad innebär detta att den ökade slagganvändningen kan användas för att öka produktionen på ett CO₂-effektivt sätt. Utsläppseffektiviseringen blir 44 000 ton CO₂ för denna insats som det minskade klinkerbehovet representerar. Investeringskostnaden blir dock hög, 200 Mkr, för ökad granulering, malning och hantering, vilket medför en kostnad på 396 kr/ton reducerad CO₂ (6 % ränta) samt 609 kr /ton för en ränta på 12 %.

4 Lättklinkerindustrin

4.1 Processer och anläggningar

Lättklinker är en porös keramisk produkt som används inom t.ex. byggindustrin. Det hårda skalet och det luftiga porösa innehållet ger lättklinker värdefulla egenskaper. Lättklinkern är lätt och därmed enkel att transportera och använda. Den är även isolerande, obrännbar och tål fukt, frost och mögel. Lättklinker kombinerar också hög hållfasthet med lång livslängd.

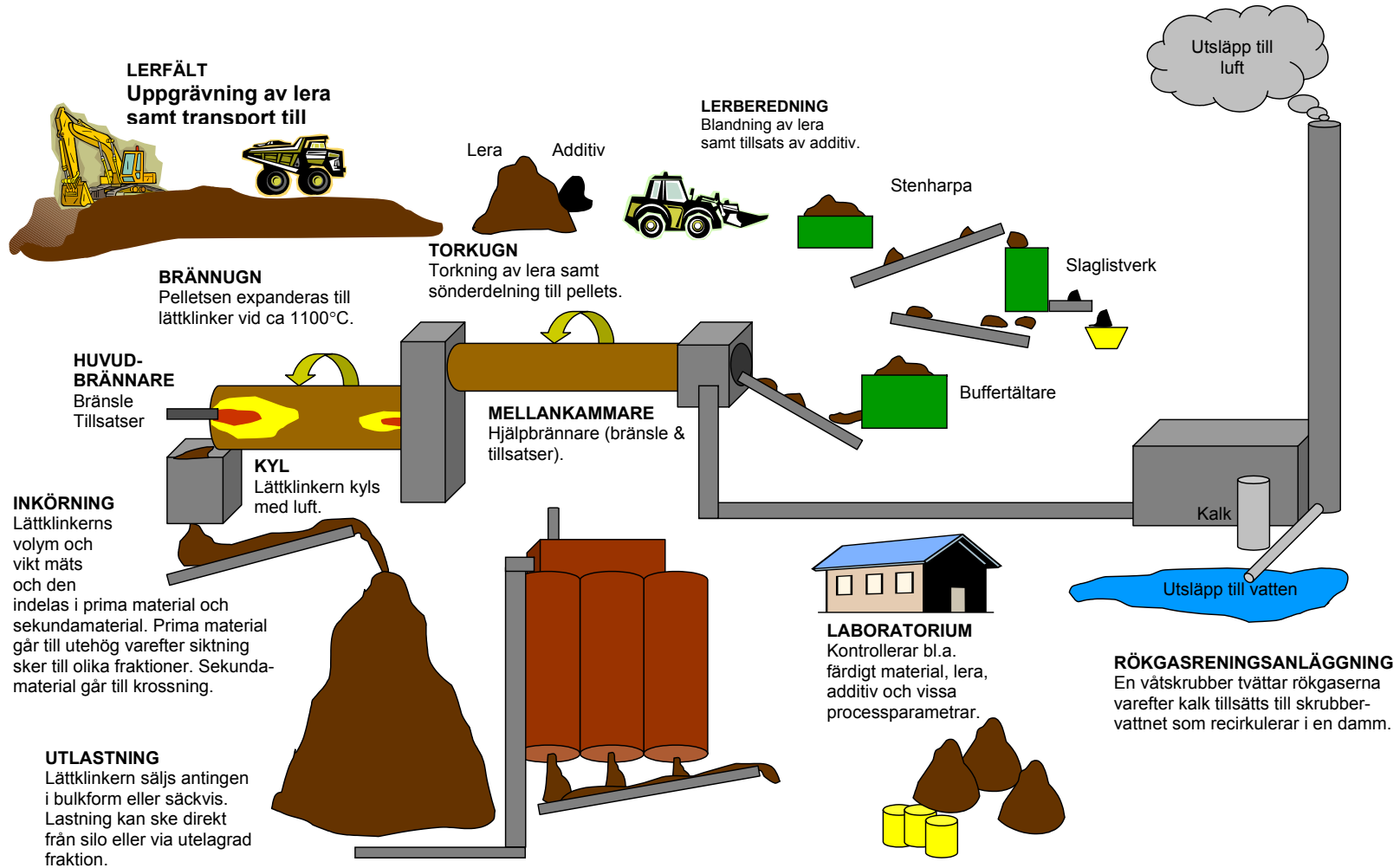
Lättklinker tillverkas vid en anläggning i Sverige lokaliserad till Linköping. Tillverkningen av lättklinker har skett i fabriken på fastigheten sedan 1962. Produkten tillverkas av AB Svensk Leca som tillhör maxit Group vilken ingår i Heidelberg Cement koncernen.

Råvaran till LECA lättklinker är lera från Östergötland. Leran bryts i närheten av produktionsanläggning i Linköping. Leran som är kalkfattig och finkornig torkas och bränns i roterande ugnar. Resultatet blir en produkt med ett hårt keramiskt skal runt ett poröst inre som är fyllt av små luftfyllda celler. LECA lättklinker är med andra ord en keramisk produkt i kornform. Produkten saluförs i olika sorteringsintervall enligt nedanstående förteckning:

LECA lättklinker 2-6 mm
LECA lättklinker 8-14 mm
LECA lättklinker 12-20 mm

De olika sorteringarna finns som bulkvara samt i både smäsäck och storsäck. LECA lättklinker transporteras huvudsakligen med tipp- eller blåsbilar. Med blåsbil kan lättklinkern levereras direkt på plats i till exempel husgrunder.

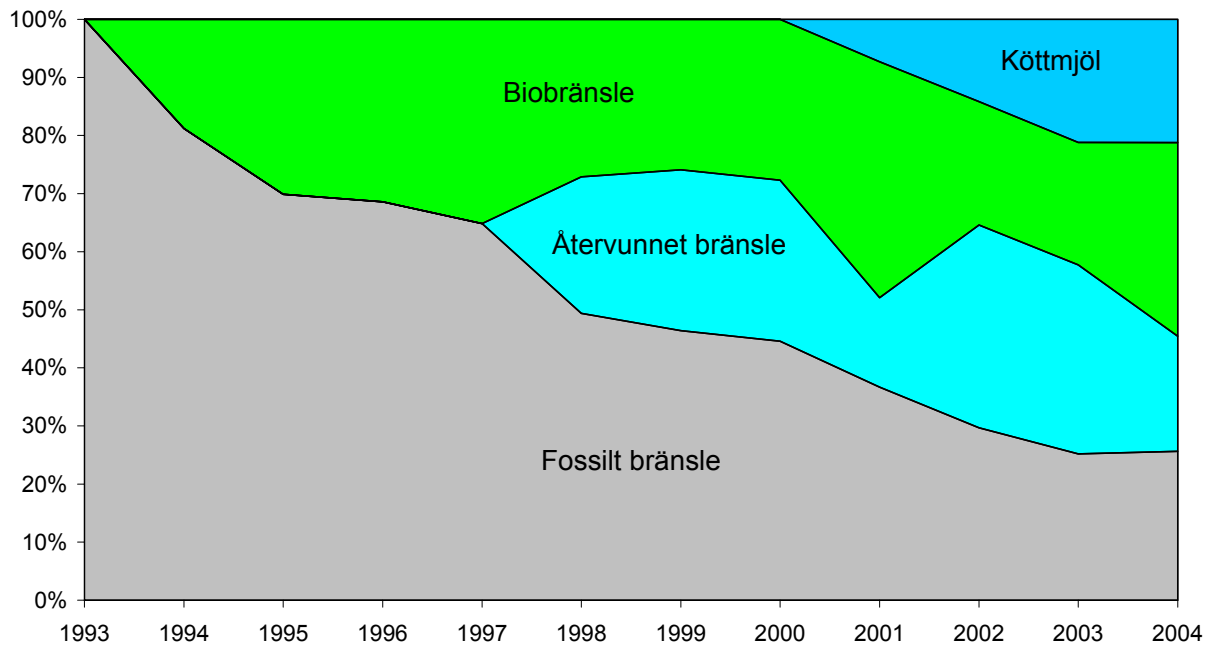
Lokaliseringen av fabriken är styrd av närheten till den speciella lera som krävs för framställning av lättklinker. Lättklinkerfabriken har tillstånd för en produktion på 600000 m³, produktionen år 2004 var 467 518 m³. Produktionen av LECA lättklinker sker i en tvådelad roterugn som består av en tork- och en brännugnsdel. För produktionen av LECA lättklinker används lera från lerfält på Kallerstad. Under år 2004 användes 149 605 m³ lera, vilken transporteras till fabriksanläggningen med dumpprar. I produktionen ältas leran så att sten och andra grövre föremål avskiljs. Vid ältningen sker eventuellt en tillsats av additiv för att förbättra expansionen. Efter ältning transporteras leran till torkugnen där den blandas och sönderdelas till så kallade pellets som torkas av varma rökgaser från brännugnen. Från torkugnen matas pelletsen in i brännugnen där de upphetas till ca 1100 °C, vilket gör att de expanderar och bildar lättklinker. Värmen i brännugnen alstras genom förbränning av kol, olja, biobränsle och köttmjöl. Den färdiga produkten lämnar ugnen, kyls med luft och förs därefter till upplag. Innan leverans siktas lättklinkern i ett antal sorterings, vilka lagras i separata silos. En viss del av materialet behandlas med såpa vid utlastning för att ge en kapillärbrytande effekt. Ett processchema över verksamheten presenteras i figur 10.



Figur 10 Översiktligt processchema över tillverkningen av Leca lättklinker.

4.2 Tekniska reduktionsmöjligheter för koldioxid

AB Svensk Leca har målmedvetet under mer än 12 års tid arbetat med att ersätta fossila bränslen med biobränslen och avfallsbränslen. Detta arbete har varit mycket framgångsrikt som framgår av figur 11 och idag står andelen biobränslen och avfallsbränslen för en stor del av energitillförseln.



Figur 11 Utvecklingen av bränsleanvändningen vid AB Svensk Leca från år 1993 till 2004.

En omprövningsprocess pågår för närvarande vilken har som syfte att ytterligare effektivisera resurshushållningen. Ett mål är att öka användningen av förnyelsebara bränslen och avfallsbränslen samt att återvinna additiv i största möjliga utsträckning. Detta skulle göra produktionen mindre beroende av fossila energikällor.

Att få produktionsprocessen så stabil som möjligt är ett annat stort uppsatt mål som har stor betydelse för resurshushållningen. Störningar i processen medför oftast att energiåtgången ökar samtidigt som erfarenheten visar att energiförbrukningen minskar (med bibehållen produktionsmängd) ju längre processen går utan störningar.

Nedan, tabell 7 och tabell 8, redovisas förbrukningen av resurser för de senaste tre åren. Där framgår det att försöken att ersätta fossila bränslen med andra typer av bränslen haft effekt. Framförallt är det användningen av spannmålsavrens och köttmjöl som har ökat samtidigt som användningen av kol och olja har minskat.

Tabell 7 Användningen av olika typer av bränslen i produktionen.

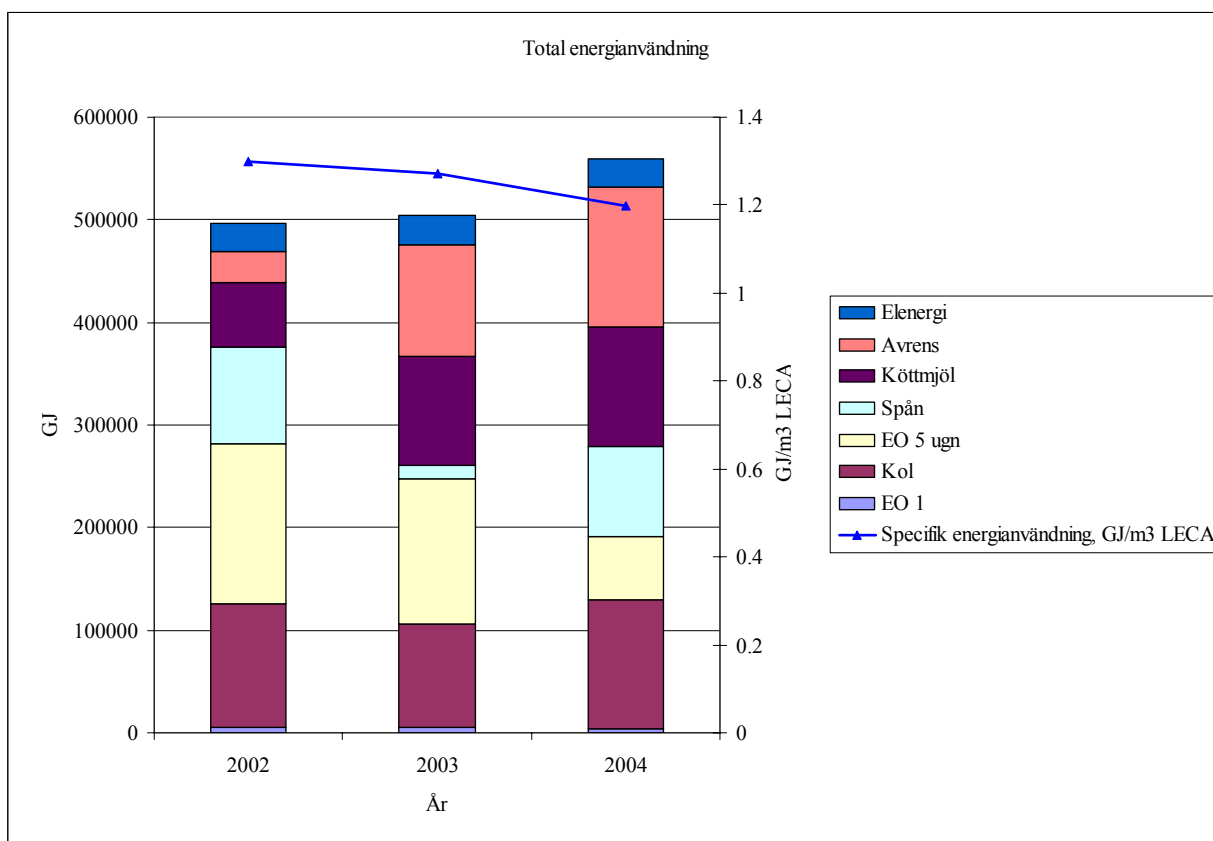
| Bränsle | Enhet | 2004 | 2003 | 2002 |
|-----------------------------|----------------|------------|------|-------|
| Kol(klass2) | ton | 0 | 0 | 0 |
| Kol | ton | 4998 | 4017 | 4802 |
| Eldningsolja,E01 | m ³ | 114 | 146 | 158 |
| Konverteradeldningsolja,E05 | m ³ | 1577 | 3624 | 3965 |
| Diesel | m ³ | 300 | 273 | 264 |
| Spån | m ³ | 5262 (ton) | 5164 | 40414 |
| Spannmålsavrens | ton | 9232 | 7424 | 2037 |
| Köttmjöl | ton | 6960 | 6360 | 3756 |

Tabell 8 Förbrukningen av råvaror, tillsatser, förpackningsmaterial, el och vatten vid tillverkningen.

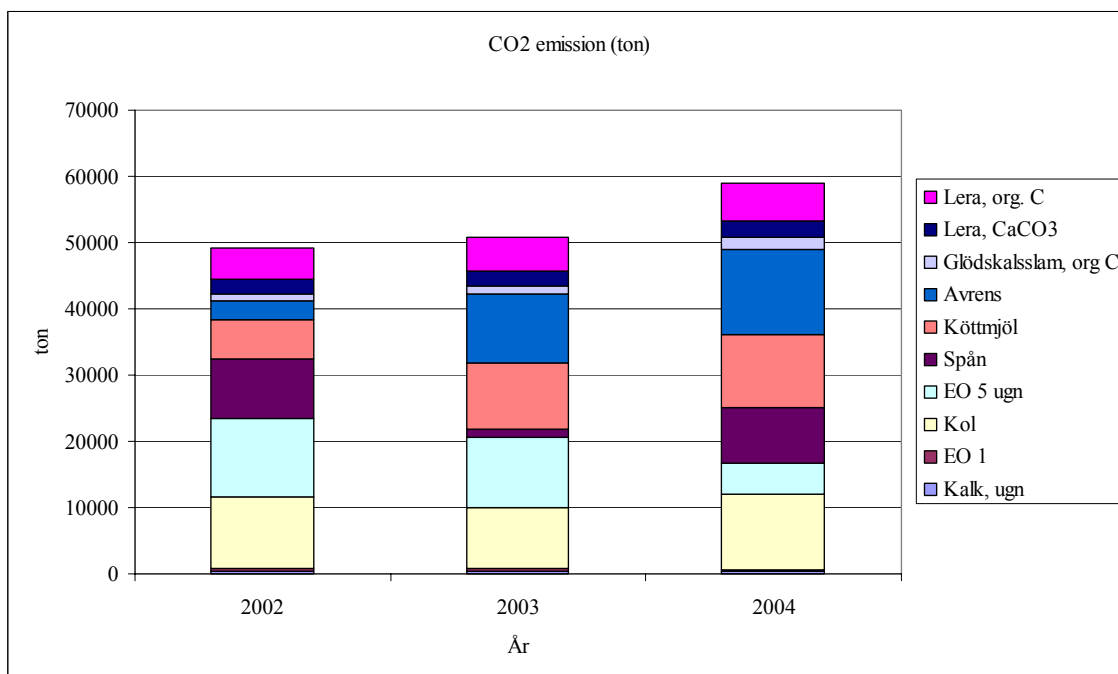
| Råvaru- eller produktnamn: | Enhet | 2004 | 2003 | 2002 |
|---|----------------|-----------|-----------|-----------|
| Lera (blöt) | m ³ | 149 605 | 135 275 | 124 800 |
| Konverterad eldningsolja (additiv till leran) | m ³ | < 1 | < 1 | < 1 |
| Blekjord (additiv till leran) | ton | < 1 | < 1 | 84 |
| Glödskalsslam (additiv till leran) | ton | 5984 | 3714 | 3540 |
| Kalk (ugnen) | ton | 861 | 1029 | 855 |
| Kalk (pH-justering) | ton | 209 | 182 | 189 |
| Såpa (beläggning av viss LECA) | m ³ | 67 | 77,6 | 88,3 |
| Plast (säckar och sträckfilm) | ton | 34 | 35 | 51 |
| El | kWh | 7 864 240 | 8 005 960 | 7 723 620 |
| Vatten | m ³ | 15 686 | 19 386 | 21 721 |

En annan positiv trend som kan utläsas är att trots att den producerade mängden lättklinker har ökat för varje år (avspeglas i den ökade mängden lera som använts) så har inte bränsleåtgången ökat i samma utsträckning vilket framgår av figur 12. Den specifika energianvändningen har sjunkit under perioden från 1,3 till 1,2 GJ/m³ LECA. Figuren visar också på en tydlig ökning av mängden avfallsbränslen och bibränslen medan mängden tung eldningsolja har minskat. Som internationell jämförelse anges i BAT-dokumentet en energianvändning för torkning och bränning om 1100-1500 MJ/m³. Typvärden för elförbrukning anges till 43 - 83 MJ/m³. Den svenska produktionen ligger inom intervallet 60 - 72 MJ/m³.

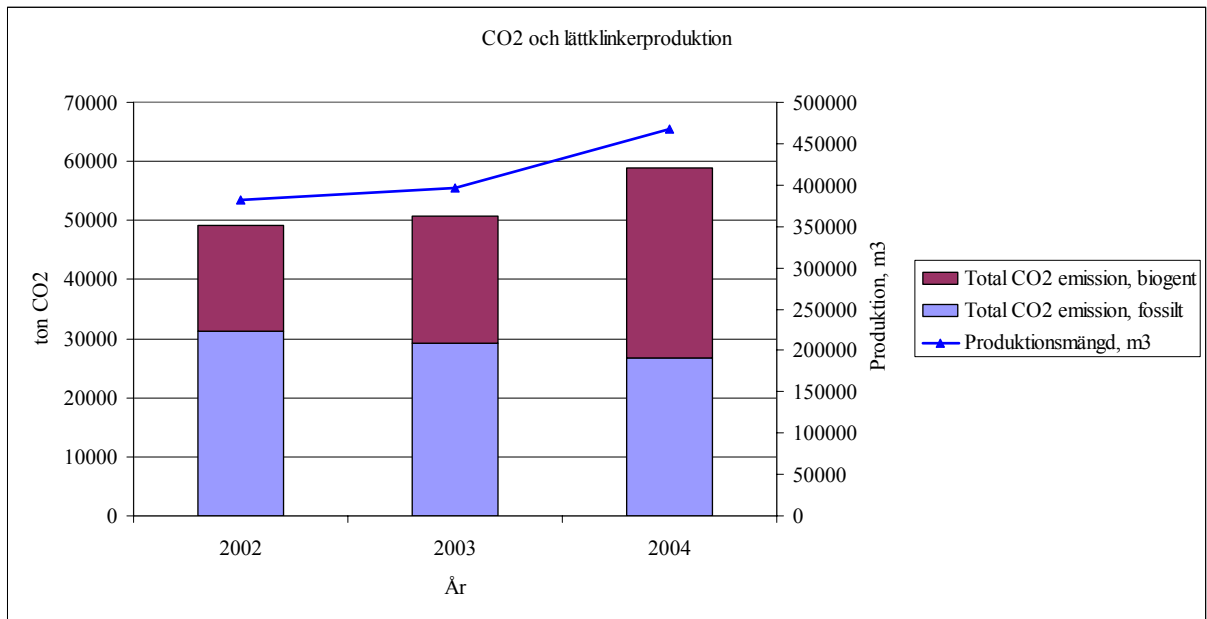
Koldioxidemissionen kommer dels från förbränningen av olika bränslen i produktionen och dels från råmaterialet. Fördelningen av CO₂-emissionen på de olika källorna framgår av figur 13 där även totalemissionen kan utläsas. Som framgår kommer endast en mindre del av CO₂-emissionen från råmaterialet. CO₂-emissionen kan delas upp i fossil CO₂ och i biogen CO₂. Denna uppdelning har gjorts i figur 14 där även totalproduktionen av Leca lagts in. I denna figur syns tydligt att andelen fossilbaserad CO₂ minskar. Den specifika CO₂ emissionen uttryckt i kg CO₂/m³ producerad Leca har beräknats i figur 15. Den specifika emissionen visar på en svagt sjunkande trend från år 2002 till år 2004 med en tydligt minskande andel fossilbaserad CO₂-emission.



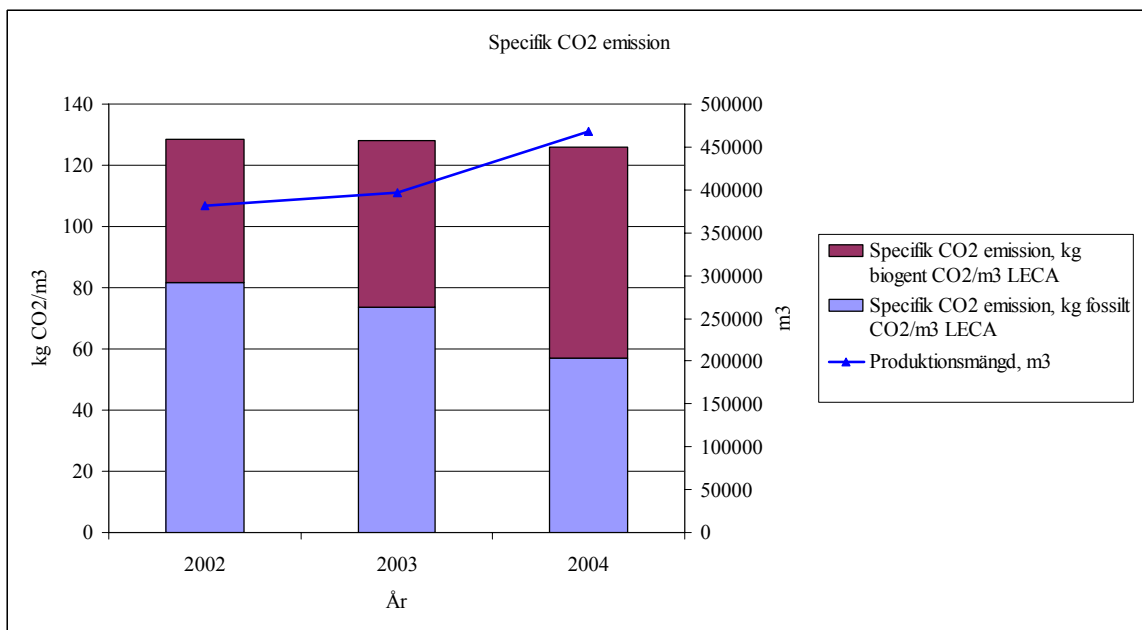
Figur 12 Utvecklingen av energianvändningen för åren 2002 till 2004.



Figur 13 Total CO₂-emission uppdelad på olika CO₂ källor (råmaterial och bränslen).



Figur 14 Andelen fossil och biogen CO₂-emission från produktionen av LECA.



Figur 15 Specifik CO₂-emission uttryckt som kg CO₂/m³ producerad LECA samt totala produktionen av LECA.

Merparten av all emitterad CO₂ härrör från klinkerugnen. Möjligheterna att minska CO₂-emissionen från råmaterialen bedöms som små. De återstående alternativen är då främst att göra energieffektiviseringar på ugnen eller att byta till bränslen som ger upphov till mindre mängder fossilbaserad CO₂. Energieffektiviseringsåtgärder bedöms endast kunna ge marginella CO₂-reduktioner men energieffektivisering av huvudbrännaren har dock undersökts och diskuteras i 4.3.

LECA har under många år arbetat med en sådan konvertering vilket framgår av den tidigare beskrivningen. Som framgår används stora mängder biobränslen redan idag. Frågeställningen är

vilka ytterligare reduktionsmöjligheter som finns. Den mest CO₂-effektiva åtgärden bedöms vara att ersätta konverterad eldningsolja och kol med exempelvis biobaserade bränslen eller andra återvunna bränslen. Redan idag sker, som tidigare visats, en övergång från fossila bränslen till biobränslen och avfallsbränslen. Det finns dock gränser för hur långt denna övergång kan drivas. Dessutom finns begränsade tillgångar på lämpliga bränslen. En viss svårighet att få fram lämpliga bränslen kan märkas redan idag.

Av processtekniska skäl måste huvudbrännaren drivas med ett väldigt finkornigt bränsle (kraven på kolfpulver är 95 % passerat material i 0,20 mm-sikten och 60 % i 0,09 mm-sikten, men där huvuddelen passerar 0,075 mm) som förbränns omgående i ugnen. Det får inte finnas större partiklar som lägger sig och brinner i Leca-bädden (detta skapar för hög temperatur lokalt i bädden med klumpbildning som följd). Bränslet måste dessutom ha tillräckligt högt energivärde (i förhållande till den mängd som det är praktiskt möjligt att blåsa in i ugnen) för att kunna åstadkomma den temperatur som gör lättklinkertillverkning möjlig. Dessa kriterier reducerar antalet möjliga bränslen som kan ersätta kol radikalt. Som komplement till kolet kan idag användas köttmjöl och en viss andel damm(trä)spån. Man försöker ständigt höja dessa andelar eftersom kolet är dyrt.

Dock är tillgången på köttmjöl och dammspån begränsad och täcker inte dagens energibehov, än mindre morgondagens då produktionskapaciteten ökas. Försök har gjorts att finfördela och mala impregnerat trä för att se om detta skulle kunna bli ett framtida bränsle. Dock visade det sig vara mycket svårt att mala ner det till de fraktioner som krävs och det skulle ställas stora krav (=stora kostnader) på de kvarnar som måste användas. Energiförbrukningen för en så kraftig malning som här behövs kan också bli betydande. Praktiska prov har också visat på stora svårigheter. Dammspån som används i huvudbrännaren idag är slipdamm, därav finkornigheten. Kalkylen för träbränsle byggde på återvunnet impregnerat trä vilket betalas för att destruera. Att mala inköpt träbränsle kommer alltså att medföra ytterligare ökade kostnader. Detta innebär dock ett reduktionsscenario för CO₂. I sekundärbrännaren däremot, går det att använda fraktioner med lite högre kornstorlek, men där eldas redan idag endast biobränslen.

Vad gäller den konverterade eldningsoljan så är problematiken ungefär densamma - man måste ha en pumpbar vätska med tillräckligt högt energiinnehåll i förhållande till den mängd som det är praktiskt möjligt att blåsa in i ugnen. Här finns dock inga detaljerade data för ersättningsbränslen.

4.3 Ekonomiska analyser av reduktionsmöjligheter för koldioxid

Energieffektivisering av huvudbrännare

Effektivare förbränning genom förbättrad huvudbrännare, matningsutrustning och lagring kan medföra en reduktion av 1500 ton/år. Kostnaden för denna åtgärd uppskattas till 521 kr/ton (6% ränta) och 833 kr/ton (12% ränta).

Bränslebyte: kolfpulver ersätts med träpulver

Genom att ersätta kolfpulver med träpulver kan en reduktion av 11 278 ton erhållas. Antar man att hälften av träbränslet erhålls gratis och hälften kostar 1000kr/ton uppskattas kostnaden för att reducera ett ton CO₂ till 248 kr/ton oavsett räntenivå då ingen investering krävs.

5 Kalkindustrin

5.1 Processer och anläggningar

Inom mineralindustrin finns i huvudsak två producenter av kalkprodukter; Nordkalk och Svenska mineral. Dessa har produktion på ett flertal orter i Norden och Baltikum. Därtill finns s.k. captive produktion d.v.s. produktion som sker i direkt anslutning till en process där kalkprodukter används internt i processen. Exempel på detta är massaindustrins mesaugnar, sockerbruk och vid karbidtillverkning.

Inom kalkindustrin finns flera olika produkter med olika användningsområden. Användningsområdena är många från trädgårdar, skogsbruk, jordbruk och sjöar till kraftvärmeverk, rökgasrening, vattenrening, cellulosaindustri och stålverk. I nedanstående tabell följer en kort förteckning över de vanligaste produkterna tillsammans med applikationsområde.

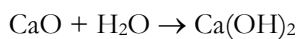
Tabell 9 Kalkindustrins produkter och dess användningsområden.

| Produkt | Kemisk beteckning | Användningsområde |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Kalksten | Kalciumkarbonat, CaCO ₃ | Krossade och malda produkter inom miljö, jordbruk och industri. |
| Bränd (osläckt) kalk | Kalciumoxid, CaO | Bränd (osläckt) kalk användes inom kemisk, metallurgisk, byggmaterial och cellulosaindustri. |
| Släckt teknisk kalk | Kalciumhydroxid, Ca (OH) ₂ | Släckt kalk används för vatten och rökgasrening. |
| Bränd dolomit | Kalciummagnesiumoxid, CaO•MgO | Bränd dolomit används inom metallurgisk industri. |
| PCC (Precipitated Calcium Carbonate) | CaCO ₃ | Fyllmedel, papper, kemiska produkter, färg, lim, tätmedel, plast, gummi, läkemedel. |

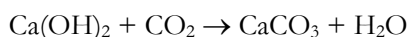
Grundråvaran för produktionen är kalksten (kalciumkarbonat, CaCO₃). Kalksten är vanligt förekommande i många geologiska formationer världen över. Vid produktionen bryts kalkstenen och krossas och mals till önskad partikelstorlek. Vid produktion av bränd kalk (CaO) upphettas kalkstenen till kalcineringstemperaturen (ca 850-900 °C) varvid koldioxid avdrivs enligt



Den bildade kalciumoxiden kan därefter släckas med vatten för att bilda kalciumhydroxid enligt



Vid denna process upplöses CaO i vatten och den bildade Ca(OH)₂ fälls ut. Denna process är exoterm. Denna utfällningsprocess utgör också ett reningssteg varvid en relativt ren kalciumhydroxid bildas. Denna kan sedan utgöra utgångsmaterial för återkarbonatisering vid tillverkning av en mycket ren kalciumkarbonat s.k. PCC (Precipitated Calcium Carbonate) enligt



De helt dominerande mängderna koldioxid genereras således vid bränningen av kalksten till kalciumoxid. Härvid bildas koldioxid dels från förbränningen av bränslen för processen dels från avdrivningen av koldioxid från kalkstenen.

De ovan beskrivna kemiska förloppen utgör dock endast en principiell grundläggande bakgrund. Det finns ytterligare egenskaper på produkterna som definieras av tillverkningsmetod och ger

produkterna olika egenskaper för olika applikationer. Man skiljer t.ex. på normalbränd, hårdbränd och överbränd kalk. Den normalbrända kalken är en reaktiv kalk med hög renhet som tillverkas i schaktugnar. Normalbränd kalk används för t.ex. rökgasrening, vattenrening och inom miljövård. Den hårdbrända och överbrända kalken är mindre reaktiv och används inom stålindustrin och inom massaindustrin. Dessa kalkkvaliteter tillverkas i roterugnar. En annan viktig egenskap på produkterna är restinnehållet av kol (C-halt). Den överbrända kalken har t.ex. egenskapen av extremt låg C-halt för applikationer inom stålindustrin.

En normal tillverkning av kalkprodukter innehåller följande produktionssteg:

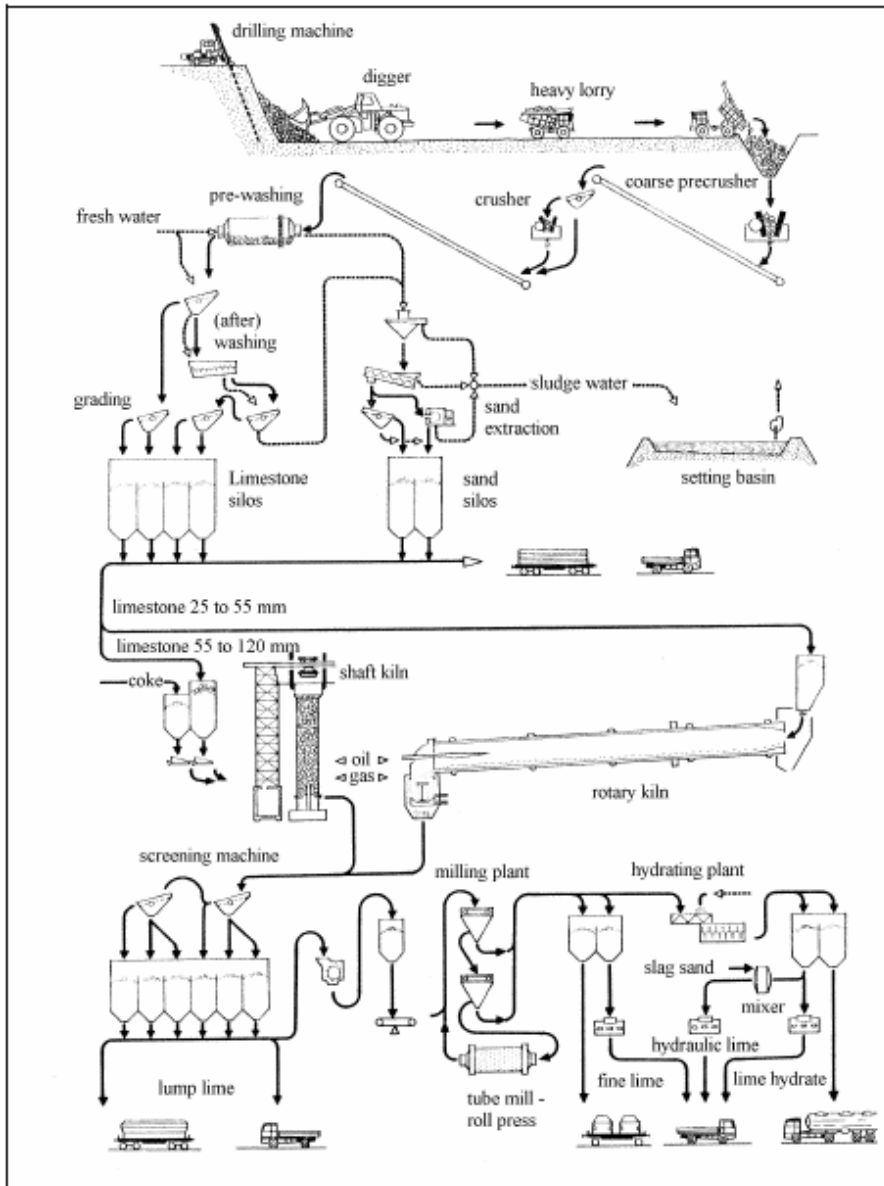
1. Utvinning av kalksten
2. Lagring och förbehandling av kalkstenen
3. Bränslehantering
4. Bränning av kalksten
5. Bearbetning av bränd kalk till produkter
6. Produktion av släckt kalk
7. Lagring, paketering och transport

En översikt över tillverkningsprocessen återfinns i figur 16.

Kalkstenen bryts i kalkstensbrott. Stenblocken reduceras i storlek genom krossning till 5-200 mm beroende på ugnstyp. Kalkstenen bränns därefter i en kalkugn. Processbetingelserna kan indelas i en kalcineringsfas där kalkstenen upphettas till över 800 °C för att driva av CO₂ och därefter sker en vidare upphettning till 1200-1300 °C (maximalt ca 1500 °C) för att kontrollera reaktiviteten på kalken och ge den dess rätta egenskaper. Flera olika typer av ugnar finns för att ge kalken dess rätta egenskaper. Producenter har ofta flera olika typer av ugnar. Ugnarna kan alla indelas i förvärmningszon, kalcineringszon och kylzon. De vanligaste typerna av ugnar är schaktugnar och roterugnar.

En schematisk bild på en enkel schaktugn visas i figur 17. I en schaktugn är kalkstenen packad i ett schakt som värms upp av olika brännare. Ett problem är att få värmen att sprida sig i hela schaktet. Normalt kan inte ugnsvärmen spridas mer än ca 1 m in i materialet så detta begränsar storleken på ugnen även om man har brännare utefter sidorna på ugnen. Värmeöverföringen är annars ganska bra för schaktugnar vilket ger en relativt låg energiförbrukning. Konstruktionsförbättringar har gjorts av schaktugnarna vilket ytterligare har reducerat energiförbrukningen och givit möjligheter till en flexiblare kalkproduktion. Några exempel på modernare schaktugnskonstruktioner visas i figur 18.

Roterugnar finns som de traditionella långa roterugnar och kortare med extern förvärmare. Figur 19 visar en anläggning med förvärmare. Långa roterugnar utan förvärmare är vanliga vid den svenska produktionen. Massaindustrins mesaugnar är också av denna typ. Energiförbrukningen för roterugnar är normalt något högre än för schaktugnar.

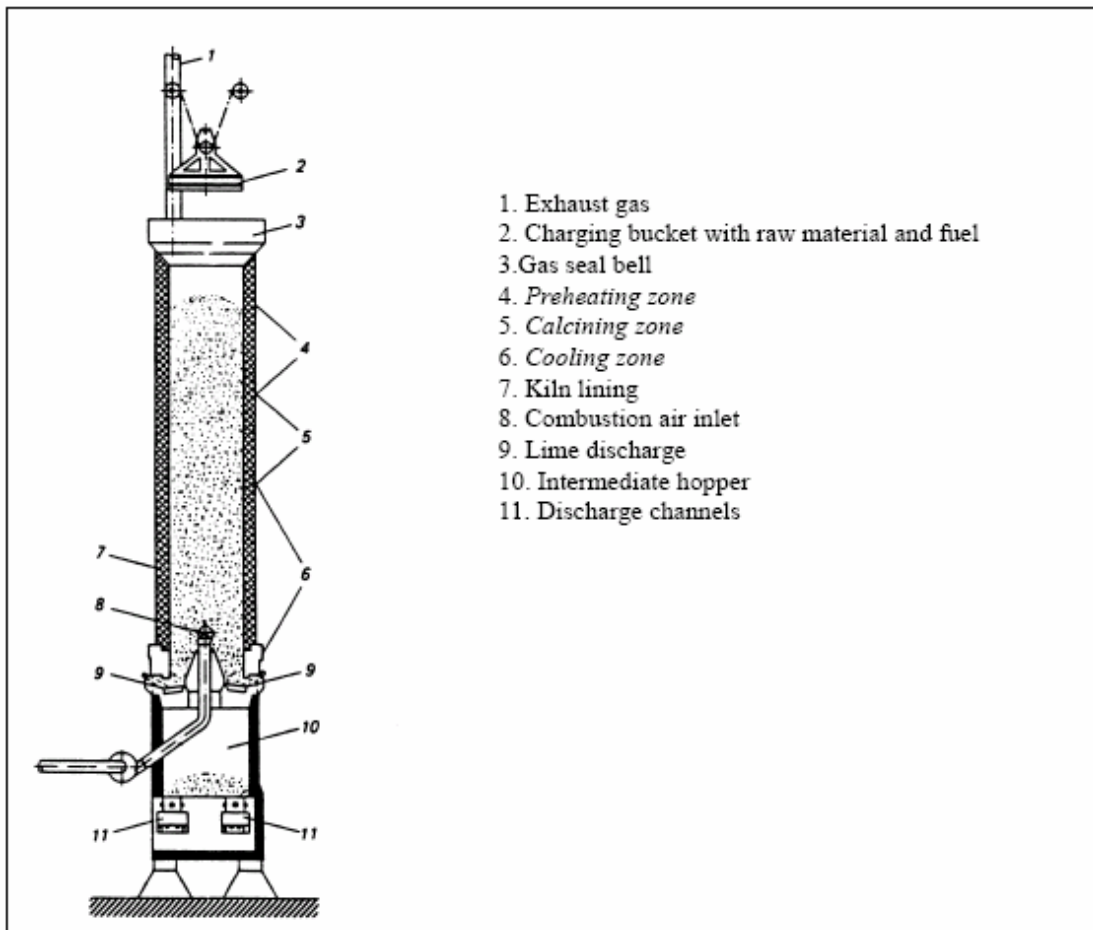


Figur 16 Schematisk bild av tillverkningsprocessen¹⁴.

Flera olika bränslen kan användas till ugnarna som t.ex. kol, koks, eldningsolja, naturgas och vissa andra udda bränslen som trä/barkpulver m.fl. Dessa bränslen ger alla upphov till olika mängd koldioxid vid förbränning. Speciellt vid roterugnar är det viktigt att notera att värmeöverföringen sker mestadels genom strålningsvärme. Ett bränsle med mycket kolpartiklar strålar bättre än ett bränsle med få partiklar. För långa roterugnar har energiförbrukningar på 9200 MJ/ton kalk för ren naturgaseldning kunnat uppmätas medan motsvarande ugn med koleldning endast ger en energiförbrukning på 7500 MJ/ton kalk. Med modifieringar kan en lång roterugn komma ned till energiförbrukningar runt 6700 MJ/ton kalk. Detta gäller vid produktion av lösbränd kalk och gäller

¹⁴ Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries, EUROPEAN COMMISSION, December 2001.

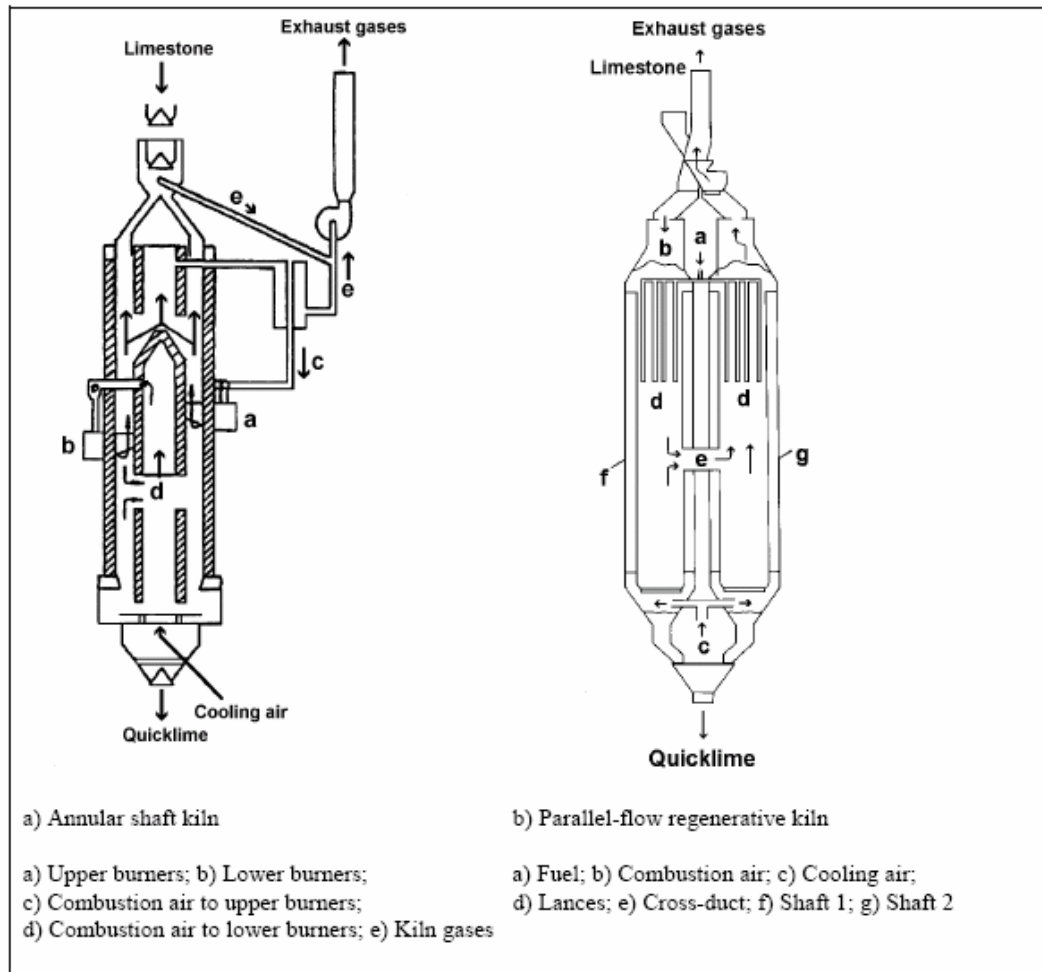
ej vid produktion av hårdbränd kalk. Moderna kortare roterugnar med förvärmare och kol som bränsle har kunnat visa på en energiförbrukning ner till 5200 MJ/ton kalk¹⁵.



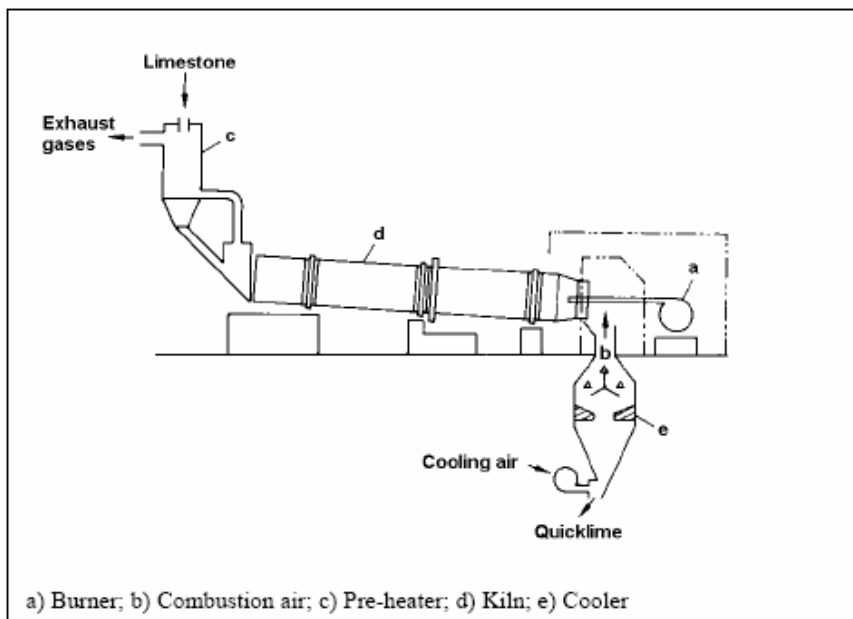
Figur 17 Vertikal schaktugn¹⁶.

¹⁵ Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries, EUROPEAN COMMISSION, December 2001.

¹⁶ Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries, EUROPEAN COMMISSION, December 2001.



Figur 18 Två moderna typer av schaktugnar.



Figur 19 Roterugn med förvärmare.

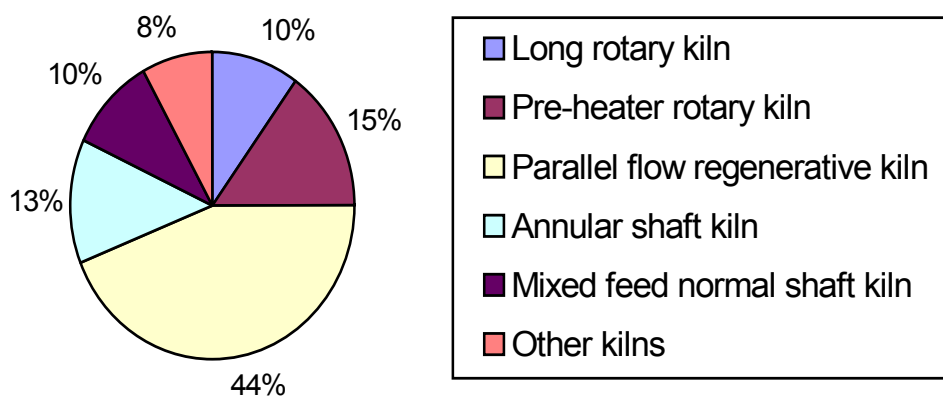
Efter bränning krossas och mals normalt den brända kalken. Därefter kan den brända kalken släckas genom att vatten tillsätts. Detta sker i en hydreringsanläggning. Ungefär den dubbla stökiometriska mängden vatten tillsätts till reaktorn. Processen är starkt exoterm och energiutvecklingen är ca 1140 kJ/kg CaO. Medeluppehållstiden i anläggningen är ca 15 minuter. Det bildade ångutsläppet renas och återstoden återförs till hydreringsanläggningen. Den bildade Ca(OH)₂ filtreras och packas för uttransport.

5.2 Tekniska reduktionsmöjligheter för koldioxid

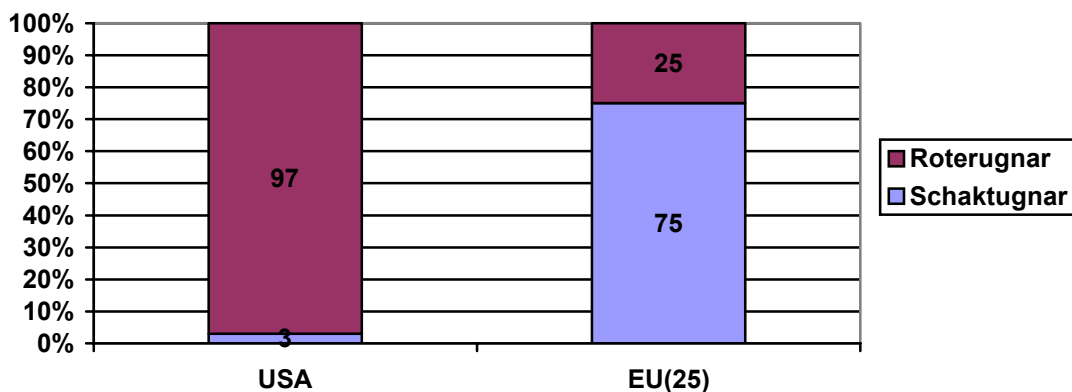
Process status

I Sverige och i Finland är andelen roterugnar högre än i syd och mellan Europa. Det beror på att ett mycket viktigt kundsegment i Sverige och Finland är pappersbruken och där kalkindustrins ugnar är backup vid stopp och haverier på pappersindustrins mesaugnar. Mesaugnarna inom pappersindustrin är uteslutande roterugnar och för att minimera driftstörningar vill de ha en kalk som påminner om den de bränner själva. Vidare så gäller i hela Europa att roterugnar gör det möjligt att utnyttja kalkstenbrotten mer effektivt och undvika spill eftersom dessa ugnar kan arbeta med den finandel som bildas i det naturliga sönderfallet vid brytningen i kalkstensbrottet. PFR (parallel-flow regenerative kiln) ugnarna kräver mer homogena och större fraktioner.

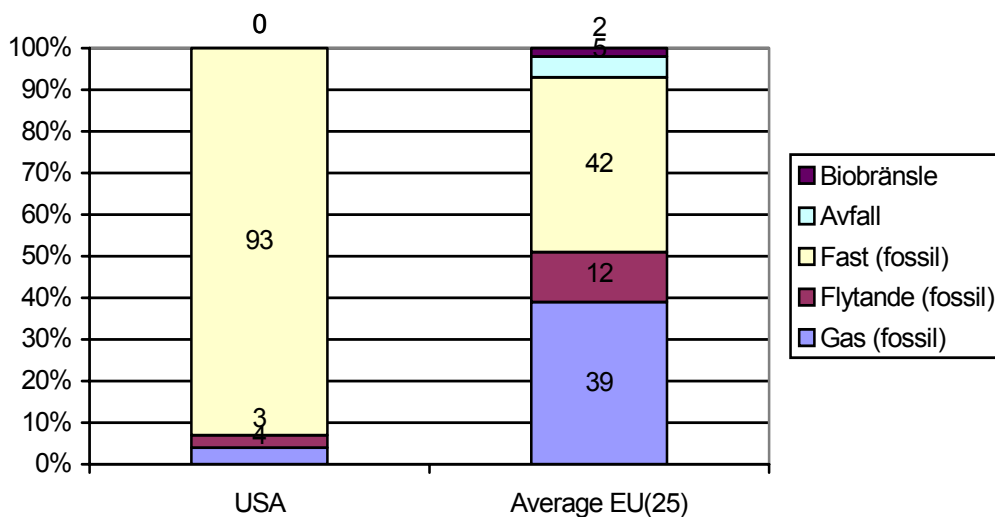
I figur 20 visas fördelningen av olika ugnstyper inom EU. Som framgår domineras produktionen av PFR ugnar. Andelen schaktugnar varierar också mellan EU och USA. I USA är användningen av roterugnar mycket hög, figur 21. Bränsleanvändningen skiljer sig också mellan EU och USA. I USA är användningen av fossila fastbränslen d.v.s. kol helt dominerande medan bränsleanvändningen i Europa är mer varierande, figur 22.



Figur 20 Användningen av olika typer av kalkugnar inom EU.



Figur 21 Fördelningen mellan schaktugnar och roterugnar i USA och EU(25).

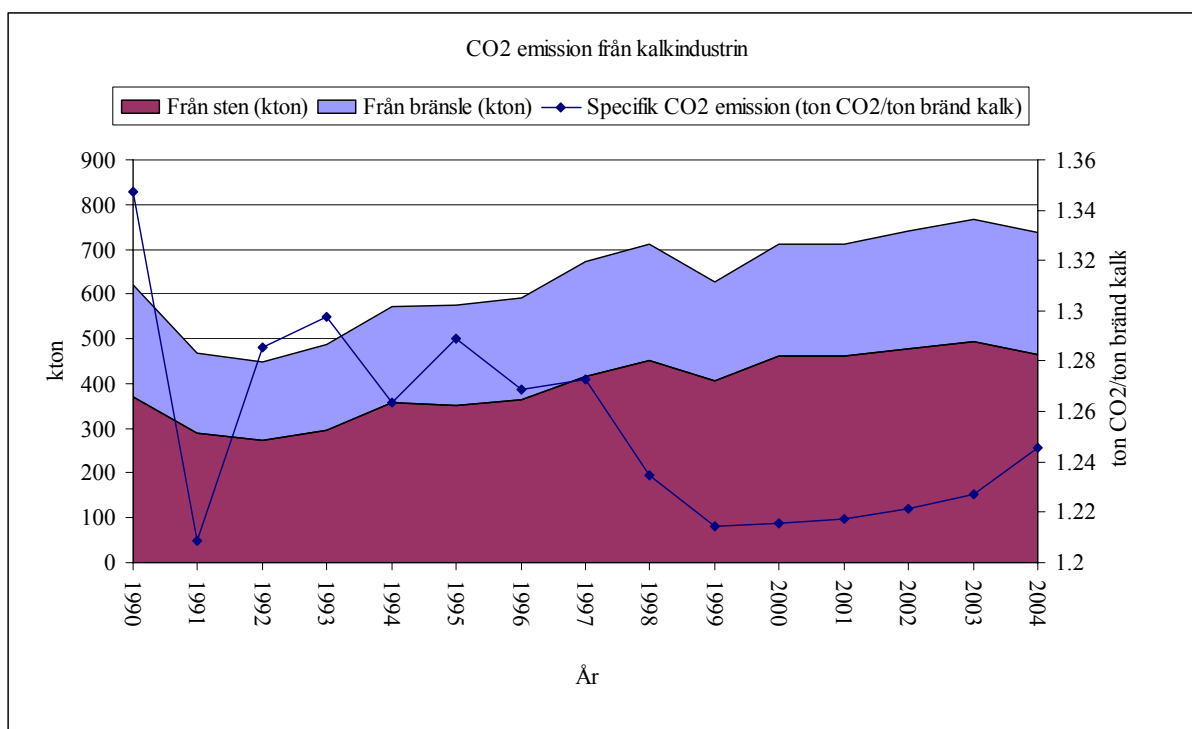


Figur 22 Bränslefördelning inom EU (25) och i USA.

Skillnaden mellan processerna, förutom möjligheten att använda finare stenar för roterugnar, är att med en roterugn går det att driva ut mer koldioxid från kalkstenen och få en mer hårdbränd och hållfast kalk. Schaktugnen ger en mer reaktiv kalk och båda kvaliteterna har sina applikationsområden.

Nulägesbeskrivning

I figur 23 visas CO₂ emissionen från den svenska kalkindustrin för åren 1990 till 2004. Figuren visar totalemissionen uppdelad på CO₂ avdriven från kalkstenen och bildad vid bränsleförbränningen samt den specifika emissionen relaterad till producerad mängd kalk. Noterbart är att det specifika CO₂ utsläppet sjunkit från 1,3476 ton CO₂ per ton bränd kalk 1990 till 1,245 ton CO₂/ton bränd kalk 2004. Förklaringen ligger huvudsakligen i en större andel schaktugnsbränd kalk än roterugnsbränd kalk. Roterugnen förbrukar dubbelt så mycket energi som PFR ugnen och det ligger i företagets intresse att tillverka så mycket som det kvalitetsmässigt är möjligt i PFR ugnar. 1996 förvärvade Svenska Mineral SSAB:s kalkugn i Oxelösund och 1997 förvärvade Nordkalk SSAB:s kalkugn i Luleå vilket förklarar utsläppsökningarna i statistiken. Under 2005 tog Imerys Mineral en ny PCC fabrik i drift i Husum vilket innebar ytterligare ökad kalkproduktion och CO₂ utsläpp.



Figur 23 CO₂-emissionen från den svenska kalkindustrin åren 1990 till 2004.

Tidigare reduktion av CO₂ /energieffektiviseringar

Målsättningen är att tillverka så mycket schaktugnsbränd kalk som det går men tekniska kundkrav medför begränsningar som t.ex. kalk för ersättning till mesaugnar och hårdbränd kalk till stålindustrin för tillsats i ståltillverkningen vid lågkolhaltiga stål och andra specialstål. PFR (schaktugnsbränd) bränd kalk lämpar sig däremot mycket bra för rökgasrening. Beträffande roterugnar har Svenska Mineral bytt brännare 1996 och Nordkalk i Köping investerar sommaren 2005 i en ny brännare. Ett brännarbyte är en investering på ca 11 miljoner SEK d.v.s. för branschen en relativt hög investeringssumma. Övergång har även skett i PFR ugnar från kol till konverterad olja.

Framtagning av möjliga reduktionsåtgärder för CO₂

Förutom det dagliga trimningsarbetet (dit räknas byte av brännare) så är möjligheterna begränsade om man inte tager till strukturella grepp.

CO₂-emission från kalkstenen

Går ej att göra något åt. Utsläppen kommer som en följd av de kemiska reaktionerna och följer direkt de stökiometriska förhållandena. Enda möjligheten att minska utsläppen från kalkstenen är att minska på produktionen.

Bränslerelaterade CO₂-emissioner

Naturgas ger lägre CO₂ utsläpp. För tillfället är detta inte tillgängligt på någon av verksamhetsorterna och dessutom måste priset på gasen var konkurrenskraftigt. Naturgas ger också en högre energiförbrukning på ugnarna jämfört med kol och olja (se diskussion ovan) så det är förmodligen bättre att använda naturgasen i förbränningsapplikationer som ej är så strålningsberoende som kalkindustrins roterugnar.

Åtgärder på roterugnar

En dyr tänkbar möjlighet är att förse befintliga roterugnar med en förvärmare. Investeringen är hög, troligen mellan 80 - 100 miljoner SEK och det blir inte helt likvärdiga produkter som i befintliga roterugnar (kalken blir mer lösbränd samt får en högre svavelhalt). Att förse en traditionell lång roterugn med förvärmare ger heller inte de optimala fördelarna som erhålls vid en helt ny ugn med förvärmare. En sammanställning av fördelar och nackdelar hos roterugnar med respektive utan förvärmare bifogas i bilaga 1.

En annan tänkbar åtgärd är att stänga roterugnar och ersätta dem med PFR-ugnar. Vinsten blir lägre CO₂ utsläpp tack vare den lägre energiförbrukningen men inte lägre CO₂ utsläpp från kalkstenen. Den ger samma utsläpp oberoende av process vid samma kalcineringsgrad. Kalkkvaliteten blir dock förändrad så detta är i många fall inte ett möjligt alternativ.

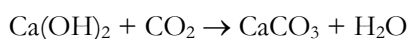
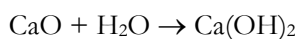
Biobränsle är inte riktigt ett alternativ då detta är för dyrt genom att det åtgår energi för att torka och pulverisera bränslet samt att det inte ger tillräcklig flamma och värmeöverföring för de kvaliteter som tillverkas för den svenska marknaden. Både Svenska Mineral och Nordkalk har utrett möjligheterna med biobränslen utan att komma till någon positiv lösning. Nordkalk har även utrett detta via ett examensarbete vid kemiska tekniska fakulteten vid ÅBO Akademi, Kim Schön, Kalkbränning med biobränsle och torv, 1996. Biobränsle används i Europa i anläggningar som tillverkar en bränd kalk med hög kvarvarande karbonathalt.

Upptag av CO₂ i bränd kalk - karbonatisering

Vid bränningen av kalk i kalkugnen avgår CO₂ från kalkstenen enligt:



Den bildade produkten CaO är inte kemiskt stabil utan kan reagera vidare. CaO har därför möjlighet att åter uppta CO₂ i en karbonatiseringsprocess. Hur detta sker och i vilken grad CO₂ kan upptas beror på den vidare användningen av CaO. Vanligen sker detta genom reaktionerna:



En studie har gjorts av Prof. A. Wolter¹⁷ där karbonatiseringsgraden har bedömts för användning i olika branscher i Tyskland. En sammanställning av resultaten visas i tabell 10. Här har applikationerna delats in i fem områden; Industri, Jordbruk, Miljövärd, Byggmaterialindustrin och Byggindustrin. För industridelen behandlas två huvudsakliga områden, användning i metallindustrin och användning i kemisk industri. Inom metallindustrin sker endast en ringa karbonatisering. Användningen i kemisk industri är huvudsakligen för kalciumkarbid vid acetylentillverkning och tillverkning av kalkkväve som gödningsmedel. Kalkkvävet karbonatiseras lätt och en återkarbonatisering om 95 % sker inom 5 år. Restprodukter från acetylentillverkning används i byggmaterialindustrin och kan antas återkarbonatisera till 50 % inom 5 år.

Inom jordbrukssektorn sker en nästan fullständig karbonatisering inom en relativt kort tid (95 %). Inom miljövärd sker användning inom dricksvattenbehandling, avloppsvattenbehandling, marksanering och rökgasrening av svavel. För dricksvatten tillsätts kalk för att reducera CO₂ så här sker en nära nog fullständig karbonatisering. För avlopp- och slambehandling kan

¹⁷ Wolter A., CO₂-Wiedereinbindungspotentiale für branntkalkprodukte, Memorandum, Technische Universität Clausthal, Professur für Bindemittel und Baustoffe, Institute für Nichtmetallische Werkstoffe, (2002).

karbonatiseringsgraden sätts till 85 % och för marksanering till 30 %. Vid svavelrening däremot bildar kalken gips (CaSO_4) vilken inte kan ta upp CO_2 . För denna applikation sker ingen karbonatisering.

I byggmaterialindustrin används den brända kalken till murbruk och putsbruk. Dessa hårdnar bl.a. genom att ta upp CO_2 och återbilda CaCO_3 . Speciellt vid putstillämpningar sker en närs nog fullständig karbonatisering. Vid fogbrukstillämpningar sker en långsammare karbonatisering. Även då bränd kalk används i betong sker en karbonatisering om än under längre tid än 5 år. Ett stort användningsområde för CaO inom byggindustrin är för markstabilisering. Här reagerar CaO ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) med pozzolaniska material i marken (framför allt leror) och bildar kalciumaluminiumhydrater. I denna applikation kan en karbonatiseringsgrad om 50 % antas. Endast en ringa del av denna karbonatisering sker inom 5 år.

Tabell 10 Bedömd andel återkarbonatisering i olika industribranscher för kalkprodukter¹⁸.

| Användningsområde för $\text{CaO}/\text{Ca}(\text{OH})_2$ | Bindningspotential för CO_2 som procent av bildad CO_2 vid tillverkningen |
|---|---|
| Industri | 18 % |
| Jordbruk | 95 % |
| Miljövärd | 31 % |
| Byggmaterialindustrin | 50 % |
| Byggindustrin | 50 % |

CO_2 tas också upp vid tillverkning av PCC (Precipitated Calcium Carbonate) Vid denna process släcks först den brända kalken och sedan leds CO_2 in för att återkarbonatisera kalken till CaCO_3 . Det finns en kapacitet på ca 2,6 miljoner ton PCC i Europa. Detta motsvarar återkarbonatisering av ca 1,7 miljoner ton bränd kalk. Tillverkningen inom EU av bränd kalk är ca 23,5 till 25 miljoner ton med undantag för så kallad Captive produktion (produktion som är kopplat till en process vars produkt ej går ut på marknaden som t.ex. karbidtillverkningen i Stockvik och tillverkningen av socker vid sockerbruken).

5.3 Ekonomiska analyser av reduktionsmöjligheter för koldioxid

Då kalkindustrin i dagsläget inte ansett sig kunna bidra med kostnadsuppskattningar av möjliga åtgärder för att reducera CO_2 från sin produktion, kan inga beräkningar göras.

6 Planglasindustrin

6.1 Processer och anläggningar

I Sverige finns endast en tillverkare av planglas – Pilkington Floatglas AB i Halmstad. En översiktlig presentation av processer och tekniker för glastillverkning återfinns i EU:s BAT dokument för glastillverkning¹⁹.

¹⁸ Wolter A., CO_2 -Wiedereinbindungspotentiale für branntkalkprodukte, Memorandum, Technische Universität Clausthal, Professur für Bindemittel und Baustoffe, Institute für Nichtmetallische Werkstoffe, (2002).

¹⁹ Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry, EUROPEAN COMMISSION, December 2001.

Vid anläggningen tillverkas planglas enligt floatglasmetoden: Glasråvaror (sand, soda, dolomit, kalksten, nefelinsyenit, natriumsulfat, järnoxid och antracit) blandas till en glassats, som tillsammans med krossglas kontinuerligt matas in i en ugn, i vilken råvarorna och krossglasen smälter samman till glasmassa. Uppvärmningen i ugnen sker med fossilt bränsle och med elektricitet.

Den färdiga glasmassan flyter sedan ut på en yta av smält tenn (det så kallade tennbadet). Medan glaset flyter på tennytan formas det till rätt bredd och tjocklek. Glaset lämnar badet i form av ett kontinuerligt band, som kyls ner till normal rumstemperatur innan det skärs upp i leveransformat. Största delen av glaset levereras i form av råglas till kunder vilka vidareförädlar glaset till isolerrutor, bilrutor eller till speglar och annat inredningsglas.

Restvärmen i de varma rökgaserna tas tillvara i en spillvärmepanna.

Förbränningsprocesser inom anläggningen är förutom glasugnen en panncentral och åtta stationära dieselmotorer. Panncentralen användes när värmen från spillvärmepannan inte räcker till. De stationära dieselmotorerna är samtliga av karaktären back-up för elbortfall; de driver fem elgeneratorer, en förbränningsluftfläkt och två cirkulationspumpar för kylvatten. Reservsystemen testas regelbundet. Dessutom finns små brännare installerade mellan tennbadet och avkylningskanalen samt efter avkylningskanalen för att kunna justera spänningar i glaset. Om glasproduktionen av någon anledning skulle stanna måste en del utrustning hållas varm för att inte förstöras. För den sakens skull finns ett antal brännare installerade.

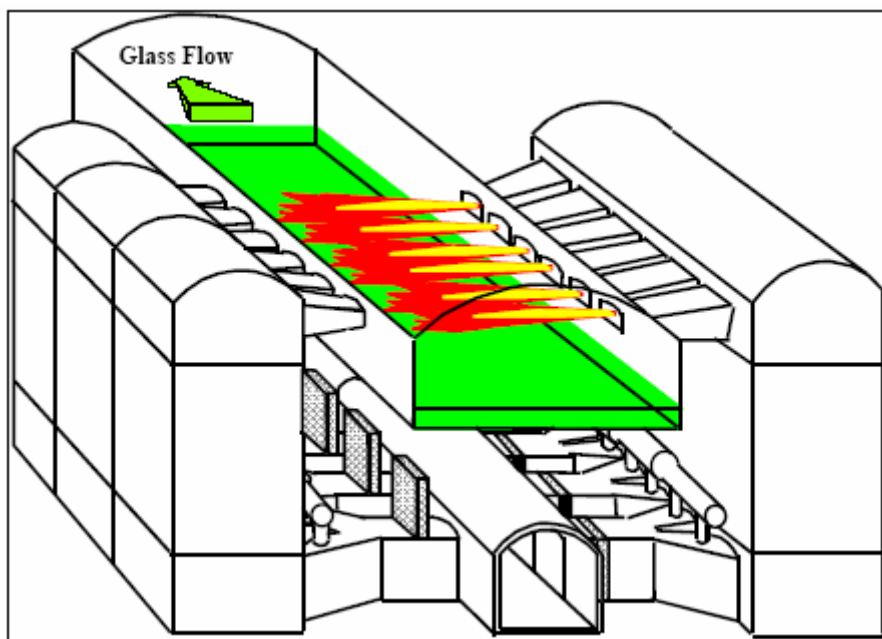
Industriprocesser inom anläggningen är smältning av glasråvaror till glasmassa i glasugnen med efterföljande formning, kylning och skärning. En del av glaset vidareförädlas inom företaget. De olika operationerna är skärning, slipning (av kanten), härdning samt beläggning med metaller och metallföreningar. De färdiga produkterna kan ha genomgått en eller flera av dessa enhetsoperationer.

En annan industriprocess är rökgasrening. Rökgaserna renas från NO_x genom att fossilt bränsle tillsätts rökgaserna efter glasugnen och det sker en kemisk reduktion av NO_x under bildning av bland annat koldioxid. Rökgaserna renas från svavel i en svavelskrubber under tillsats av kalkhydrat (släckt kalk). Kalkhydraten innehåller en mindre mängd kalciumkarbonat.

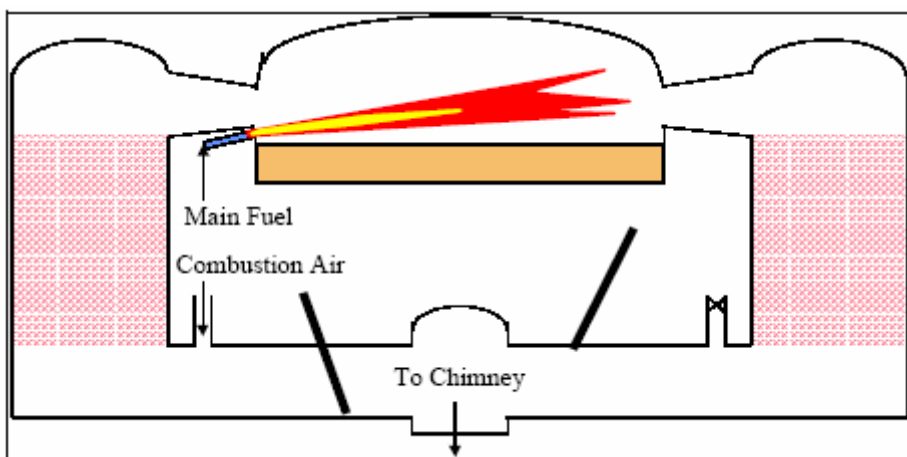
En del av spillvärmen levereras i form av hetvatten till Halmstad energiverks fjärrvärmenät.

Pilkington Halmstad har en tvärseldad, regenerativ glasugn med sju förbindelser på vardera sidan mellan ugn och regenerator, så kallade portar. Figur 25 från EU:s BAT dokument visar ett brännararrangemang som kallas underporteldning. Pilkington Halmstad är försedd med sidoporteldning för naturgas och genomporteldning (through port) för olja. Det betyder att naturgasbrännarna sitter på sidan av portarna medan oljebriännare sticker ner genom ett hål i portvalvet (taket).

Ugnen hos Pilkington i Halmstad är försedd med elektrisk boost. Upp till 10 % av energitillförseln kan ersättas med elektricitet.



Figur 24 Principskiss för en regenerativ glasugn²⁰.



Figur 25 Tvärsnitt av en regenerativ glasugn²¹.

Den övre kapacitetsgränsen för Pilkingtons ugn i Halmstad är någonstans mellan 950 och 1000 ton per dygn. Det mesta som har smälts under ett dygn är 949 ton. Tillåten produktion enligt tillståndsbeslut är 6000 ton per vecka (857 ton per dygn) som medelvärde över året. Utrustningen efter smältugnen innebär också begränsningar i produktionsvolymen till exempel vid tillverkning av tunt och tjockt glas. Med genomsnittlig produktmix blir den maximala produktionskapaciteten 300 000 ton per år (821 ton per dygn). Normal utnyttjandegrad är 89 % av den maximala produktionskapaciteten. De senaste åren har produktionen varit:

1998 5008 ton per vecka

²⁰ Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry, EUROPEAN COMMISSION, December 2001. refereras till som BAT dokument.

²¹ Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry, EUROPEAN COMMISSION, December 2001.

| | |
|------|---|
| 1999 | 3336 ton per vecka sett över hela året. Glasugnen byggdes om och produktionen var stoppad under 93 dygn. Genomsnittlig produktion när glas producerades var 4456 ton per vecka. |
| 2000 | 5304 ton per vecka |
| 2001 | 5183 ton per vecka |
| 2002 | 4998 ton per vecka |
| 2003 | 4977 ton per vecka |
| 2004 | 5113 ton per vecka |

6.2 Tekniska reduktionsmöjligheter för koldioxid

Processtatus jmf. med branschen (EU, globalt).

I BAT-dokumentet finns på sida 72 ff en diskussion om energiförbrukningen vid glastillverkning och på sida 86 specifikt för planglas. För planglas är den typiska energiförbrukningen 5,5 till 8 GJ/ton, i tabellen på sid 75 står det 6,3. Energiförbrukningen består av två delar: En ”rörlig” del som har med smältningen att göra, ju mer som smälts, desto mer energi behövs och en ”fast” del som går åt för att hålla hela konstruktionen varm. Den senare energimängden går åt även om inget glas produceras. Detta betyder att den specifika energiförbrukningen stiger vid minskande produktion.

Under en 11-dagars period i mars 2005 när produktionen stadigt var mellan 5794 och 5891 ton per vecka (medel 5832) var den specifika energiförbrukningen 5,76 GJ/ton. Det betyder att Pilkington Halmstad, som har en av de största glasugnar som finns, ligger nära den undre gränsen i det angivna intervallet. Energiförbrukningen vid Pilkington i Halmstad hör till de bästa i Europa.

Nulägesbeskrivning för utsläppsnivån av CO₂.

Koldioxiden kommer huvudsakligen från bränslet i ugnen och råmaterial men även från några mindre källor: olika reservdrifter samt kalkstensrester i släckt kalk för rökgasrening. Det är dock endast råmaterial och bränsle i ugnen som har någon betydelse.

Under januari till juni har Pilkington Halmstad släppt ut 80 532 ton CO₂. Det fördelar sig på 58 088 ton från bränsle i ugnen (72,1 %), 20 341 ton från råmaterial (25,3 %) och 2 104 ton från övriga källor (2,6 %). Produktionsvolymen har legat på 5 135 ton per vecka i snitt, vilket motsvarar 89 % utnyttjandegrad.

Tidigare gjorda reduktioner av CO₂/energieffektiviseringar – historik.

Råmaterial

Pilkington, Halmstad, har i princip haft samma glasrecept från starten 1976. Det som har ändrats är mindre justeringar beroende på ändringar i sammansättning av råvarorna. Pilkington strävar hela tiden efter att ha en konstant innehåll i det färdiga glaset. Man har dock medvetet ändrat aluminiumhalten i glaset vid några tillfällen, vilket görs genom att tillsätta mer eller mindre av nefelinsyenit, som är ett aluminiumhaltigt mineral. Det mineralet är inte något karbonat och utsläppet av koldioxid från råvaror har därför inte förändrats.

Glas kan smältas om i princip i all oändlighet men koldioxidutsläppet från råvaror sker endast första gången. Varje ton glas som tillverkas från krossglas i stället för från råvaror betyder ett minskat utsläpp på 205 kg koldioxid. Sedan 1990 tar Pilkington glaskross i retur från kunder, mängden har de senaste åren varit i storleksordningen 4000 ton per år.

Energi

En glasugn av Pilkingtons typ innebär en stor investering och den måste därför fungera länge. Man tillverkar glas kontinuerligt utan avbrott i en lång följd av år. Den första ugnen varade mellan 1976 och 1986, den andra 1986 – 1999 och den nuvarande har gått sedan 1999. Pilkington räknar med att

den skall hålla minst lika länge som ugn nr 2, d.v.s. till 2012 men troligen går den till 2014 eller 2015.

De långa intervallerna mellan reparationerna ger vissa földeffekter. En sådan är att det kan ta tid för utveckling att slå igenom, dels dröjer det innan man får möjlighet att prova, dels måste man vara säker på att förändringen fungerar under ugnens hela livslängd. En annan effekt är att om det skulle bli något fel i konstruktionen blir man tvungen att leva med det även om det ger en ökad energiförbrukning. Mellan reparationerna går det dock att trimma energiförbrukningen genom olika åtgärder som inte innebär ändringar i konstruktionen.

Energiförbrukningen per vecka har jämförts inom intervallet 4750-5000 ton per vecka för de tre kampanjerna och i intervallet 5750 – 6000 ton per vecka för kampanj 2 och 3 (kampanj 1 hade en maximal produktion på 5000 ton per vecka). Skillnaderna är statistiskt säkerställda.

| Ugn | 4750-5000 ton per vecka | 5750-6000 ton per vecka |
|------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Kampanj 1, Ugn 1 (1976-1986) | 12598 MWh/vecka | |
| Kampanj 2, Ugn 2 (1986-1999) | 10257 MWh/vecka | 11762 MWh/vecka |
| Kampanj 3, Ugn 3 (1999-) | 9146 MWh/vecka | 11015 MWh/vecka |

Minskningen i energiförbrukning var vid den lägre produktionsvolymen 2341 resp. 1111 MWh/vecka (18,6 % respektive 10,8 %) och vid den högre produktionsvolymen 747 MWh/vecka (6,4 %). Det motsvarar i minskat utsläpp av koldioxid (räknat som olja) 631, 300 resp. 201 ton per vecka.

Leverans av fjärrvärme till andra anläggningar

Rökgaserna är cirka 500 °C efter passage av regeneratörerna. Hos Pilkington i Halmstad leds dessa rökgaser genom en avgasvärmepanna innan svavelskrubber och elektrofilter. Installerad effekt är 12 MW. Värmen som tas ut i avgasvärmepannan användes för intern uppvärmning inklusive varmhållning av eldningsoljan i oljecisternerna.

Sedan början av 1980-talet är Pilkington även anslutet till Halmstad Energiverks fjärrvärmenät. Efter kallreparationen 1999 har Pilkington levererat 30 000 – 40 000 MWh per år till kommunens fjärrvärmenät. Pilkington hade kunnat leverera mer värme men eftersom den primära energikällan för fjärrvärme i Halmstad är sophöret utnyttjas Pilkingtons leveranser endast under den kalla delen av året när sophöret inte räcker. Den värme som inte användes kyls bort.

Energiförbrukning med bränsle-/energislagsspecifikation.

Som framgått tidigare beror den specifika energiförbrukningen på produktionsvolymen men inte enbart det. Andra faktorer som påverkar är val av bränsle, graden av tillskottsvärme av elektricitet (elboost) samt hur stor krossglasinmatningen är.

Bränsleval

(punkt 3.2.3, sida 72 i BAT-dokumentet)

Eldningen sker inne i ugnrummet över de smältande råmaterialen och glasytan. Överföringen av energi från flammen till råmaterial och glas sker till allra största delen i form av strålning, antingen direkt eller indirekt genom att valvet i ugnen också värms upp. Mängden energi som överförs genom strålning beror på den så kallade emissionsfaktorn och den absoluta temperaturen (upphöjt till 4) hos den strålände kroppen. Emissionsfaktorn i en flamma beror bland annat på förhållandet mellan kol och väte i bränslet. En högre andel kol betyder att flammen blir mer lysande. Det gör att det går åt 5-7 % mer energi om man använder naturgas i jämförelse med eldningsolja.

Fram till och med april 2000 använde Pilkington Halmstad gasol som ett bränslealternativ. Det är inte längre aktuellt bland annat beroende på att det dåvarande skyddsområdet för gasollagringen

numera är bebyggt. Naturgas har använts sedan augusti 2000 men användes inte för närvarande på grund av en ofördelaktig prisbild.

Elboost

(punkt 2.3.5, sid 41 i BAT-dokumentet)

För en så stor ugn som Pilkingtons går det inte att smälta råvaror till glasmassa med enbart elektricitet. Däremot kan man använda elektricitet för att bidra till varmhållningen av glasmassan. Glasmassa är elektriskt ledande och man leder elström genom glasmassan mellan elektroder som stuckits in genom botten av ugnen. Energin avges i glasmassan som "ohmsk" värme. Energiutbytet är bra. En kWh tillförd elektricitet motsvarar cirka två kWh fossilt bränsle. Orsaken till det är dels att det inte blir några energiförluster i form av varma rökgaser och dels att det är lättare att värma glasmassan på botten av ugnen på det sättet. Elenergi kan utgöra upp till 10 % av tillförd energi.

Krossglas

I BAT-dokumentet, sida 74 står det under punkt e) att om krossglasandelen ökar med 10 % minskar energiförbrukningen med 2 – 3 %.

Förbrukningssiffror per dygn under januari – juni 2005 inom några intervall framgår i nedanstående tabell.

| Produktions- volym | Krossglas- tillsats | Eldningsolja | Naturgas | Elektricitet | Specifik energi (som olja) |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Ton per vecka | % | kg/timme | m³/timme | kWh/timme | GJ/ton |
| 4750-5250 | 17-23 | 3919-4377 | 0 | 1788-4118 | 6,20 |
| 4750-5250 | 23-30 | 3815-4343 | 0 | 205-3575 | 6,13 |
| 5250-5750 | 17-23 | 4143-4342 | 0 | 2291-3240 | 6,09 |
| 5250-5750 | 23-30 | 4024-4565 | 0 | 1485-3733 | 6,07 |
| > 5750 | 23-30 | 4284-4434 | 0 | 3641-3708 | 5,84 |

Produktionen 2005, 2010, (2015) samt 2020

Pilkington Halmstad har som sin naturliga hemmamarknad de Nordiska länderna och Baltikum. Storleken på den marknaden och konkurrens från andra floatglastillverkare gör att Pilkington Halmstad måste söka sig till marknader som ligger utanför den naturliga för att få avsättning för vad som kan tillverkas. Hittills under 2005 har Pilkington Halmstad levererat glas till Ryssland. Pilkington håller på att bygga en ny floatglasfabrik i Ryssland och inför starten av den måste Pilkington bygga upp en marknad för sitt glas och det är det glaset som hämtas från Halmstad. Den exporten kommer att sina under senare delen av 2005 eftersom fabriken i Ryssland startar då. I stället får Pilkington Halmstad söka sig till andra avlägsna exportmarknader.

Även om glasefterfrågan historiskt har stigit med 3-4 % per år i Europa så kommer inte det att byggas en till linje i Halmstad. Det tillkommer visserligen nya glaslinjer hela tiden, såväl Pilkingtons som konkurrenters, som ungefär motsvarar efterfrågeökningen men de hamnar mitt i marknaden snarare än i periferin.

För 2005 kommer produktionen att uppgå till cirka 260 000 ton (5000 ton per vecka). Som nämnts tidigare kan som mest tillverkas 313 000 ton per år (6000 ton per vecka) men på grund av att alla tjocklekar inte kan tillverkas vid den högsta hastigheten är en praktisk övre gräns cirka 300 000 ton. Under åren 2010, 2015 och 2020 kommer produktionen att ligga mellan 260 000 och 300 000 ton per år.

Glaset besparingspotential

I BAT-dokumentet sida 13-14 står det att de mest avancerade tvåglas isolerrutor med lågemissionsbeläggning reducerar värmeförlusten till 80 % jämfört med enkelglas och drygt 60 % jämfört med dubbelglas. 20 % av energianvändningen inom EU går åt till att värma bostäder och 60 % av dessa är fortfarande försedda med enkelglas. I dokumentet anges att man inom EU skulle minska utsläppet av koldioxid med 80 miljoner ton per år om allt enkelglas uppgraderades till tvåglas isolerrutor med lågemissionsbeläggning.

I Sverige är bilden något annorlunda, andelen enkelglas är inte så stor. I rapporten "För ett samlat grepp på byggnadsbeståndet" av Urban Norlén (red.), Gävle 1998, ISBN 91-7170-245-8 uppskattas den samlade fönsterarean i Sverige till 71 miljoner m², varav 14,5 är i lokaler och resten i bostäder. Rena industrifastigheter är inte medräknade. Av dessa uppskattas 50 miljoner m² vara 1- eller 2-glasfönster. Lokalers andel av dessa är 10 miljoner m²

Energiflödet genom ett material beräknas med formeln:

Energiflöde (Ws) = u-värde (W/m²K) × Area (m²) × Temperaturskillnad (K) × Tid (sek)

För fönsterkonstruktioner jämförs utomhustemperaturen med en inomhustemperatur på 20 °C. Som jämförelseort användes oftast Örebro, som har en medeltemperatur över året på 5,9 °C.

En tvåglas kopplad ruta har ett u-värde på 2,8 W/m²K och en tvåglas isolerruta med lågemissionsbeläggning har u-värde 1,4 W/m²K. I Örebro blir besparingen 140 kWh/m² fönster och år.

Enligt statistik från SCB är 40 % av uppvärmningen i Sverige baserad på olja om man antar att hälften av fjärrvärmens är oljebaserad. Det betyder en statistisk oljebesparing motsvarande 56 kWh/m² fönster och år.

Eldningsolja 2-5 ger upphov till 76,2 ton CO₂/TJ (Tabell i avsnitt 2.2.1 i bilaga 1 till Naturvårdsverkets föreskrifter och allmänna råd om utsläppsrätter för koldioxid, NFS 2005:6).

Varje kvadratmeter kopplat tvåglasfönster som byts till tvåglas isolerruta med lågemissionsbeläggning "sparar" 15,4 kg koldioxid per år. För att tillverka 2 m² glas släpper Pilkington ut 14,3 kg koldioxid.

För att göra en riktig kalkyl måste man förutom glaskonstruktionens u-värde även ta hänsyn till karm och båge och karmens infästning i väggen vilket inte är gjort i ovanstående beräkning. Dessutom är isolerrutan ofta fylld med argon som ytterligare förbättrar isoleringen. Man måste dessutom lägga till utsläpp vid transporter och utsläpp vid tillverkning av de andra komponenterna i ett fönster samt vid hopsättningen av fönstret.

Någon gång mellan ett till två år efter installationen har utsläppet av koldioxid vid tillverkningen sparats in. Ett fönster räknas idag att vara i minst 30 år.

Framtagning av möjliga reduktionsåtgärder (reduktionsscenarier) för CO₂ inom respektive industribransch fram till år 2010 respektive år 2020.

Råmaterial

När det gäller råmaterial finns det inte mycket att göra om man vill behålla dagens kvaliteter på glas. Man skulle i och för sig kunna tänka sig att använda bränd kalk och bränd dolomit men det betyder endast att man flyttar utsläppet.

Den enda åtgärden på råmaterialsidan som finns är att öka användningen av externt krossglas. Pilkington Halmstad tar för närvarande tillbaka krossglas från sina kunder. Orsaken till att endast kunder är aktuella är att där kan man ha en sådan kontroll på hanteringen att man vet att det inte förkommer några föroreningar. Ett annat skäl är att man vill vara säker på att krossglaset har samma sammansättning som det i produktionen. Om man blandar in glas med annan sammansättning finns det en stor risk att det kommer att synas i det färdiga glaset eftersom glas blandar sig dåligt. Även vid smälttemperaturen är glas en tämligen viskös massa. Det räcker att fukthalten i exempelvis kiselsanden ändras sig från 4 till 3 % utan att detta kompenseras för, för att det skall ge synliga distorsionslinjer i glaset.

Möjliga källor är fönsterrenoveringar, rivning av fastigheter och skrotning av bilar. Det senare är dock osäkert eftersom bilar i allt högre utsträckning har tonade (genomfärgade) rutor. Dessutom finns det ofta en bård av keramisk färg, vidare sitter olika detaljer limmade på rutorna. Platen i de laminerade framrutorna är också ett problem.

Glas i form av flaskor och burkar är också tveksamt, för det första skiljer sig grundammansättningen i glaset från planglas och för det andra är sådant glas ofta kraftigt färgat.

För att det skall gå att använda krossglas från yttre källor måste i princip en ny återvinningsindustri byggas upp, en som kan garantera en jämn sammansättning och frihet från föroreningar.

Med dagens priser på råmaterial och energi är värdet på krossglas cirka 600 kr per ton. Till det kommer värdet på 0,2 utsläppsätter, som med dagens pris (2005-07-28) motsvarar 40 kr per ton. Investeringen som behövs skall klara att leverera krossglas till högst 640 kr per ton.

Energi

Förutom den energibesparing som en ökad krossglasanvändning skulle innebära finns det inga uppenbara åtgärder på kort sikt (till 2010) som drastiskt sänker energiförbrukningen. Däremot kommer en kallreparation någon gång mellan 2010 och 2020. En sådan har hittills inneburit en sprängvis sänkning av energiförbrukningen, dock var sänkningen störst första gången. I BAT-dokumentet på sidan 13 står det i näst sista stycket att energiförbrukningen för smältning börjar närma sig den teoretiska nivån, vilket innebär att så småningom blir det ingen förändring vid kallreparationer.

En kallreparation av en glasugn i Pilkington storlek kostar i storleksordningen 200 MSEK. Hur mycket av det som kan hänföras till åtgärder för energibesparing går inte att säga. Det är inte säkert att det kostar något extra. Det kan vara utformningen av smältrummet som får andra dimensioner och som inte behöver betyda någon extra kostnad. Ett exempel är att vid reparationen 1999 sattes en detalj in i ugnen i syfte att spara energi. Tyvärr visade det sig snart att det inte fungerade utan detaljen har troligen tvärtom ökat energiförbrukningen något. Det går inte att rätta till detta under drift utan man tvingas leva med detta förhållande tills nästa reparation då detaljen tas bort. Då den traditionella detaljen är billigare, leder detta till lägre investeringskostnader och en samtidig energibesparing.

Oxy-fuel

En del av energin som går åt i glastillverkningen behövs för att värma upp den inerta delen av förbränningsluften (främst kväve). Ett sätt att komma runt det är att ta bort kvävet ur luften innan ugnen. Det finns en etablerad teknik för detta som kallas oxy-fuel (sida 151 ff i BAT-dokumentet). En ugn med oxy-fuelteknik ser annorlunda ut än en sådan som Pilkington har i Halmstad. Det finns till exempel inga regenerators och brännarna är annorlunda. Det är ovanligt att konvertera en ugn avsedd för luft till en med oxy-fuelteknik. En av de stora fördelarna med den tekniken är att man slipper investeringskostnaden för regenerators och en avancerad skorsten. I en traditionell glasugn finns redan dessa komponenter på plats.

Den stora kostnaden med oxy-fueltekniken är, förutom investeringen i en syrgasanläggning, driftskostnaden för att tillverka syrgasen. Investeringskostnaden för oxy-fueltekniken är enligt tabellen på sidan 173 i BAT-dokumentet negativ eftersom man jämför en ny ugn utan regenerators och med oxy-fuelteknik, med en traditionell ugn som förses med regenerators. Investeringskostnaden för syrgasanläggningen är däremot inte med utan den kostnaden bakas in i priset på syrgas. Vad det slutligen blir är beroende på elpriset. Miljövinsten kan också mycket väl ätas upp av sättet att generera elektricitet. Man kanske endast flyttar utsläppet.

Det finns en floatglasugn med oxy-fuelteknik i drift. Den ugnen finns i USA och är mindre än hälften så stor som Pilkingtons i Halmstad. Den konverterades till oxy-fuel i samband med en ombyggnad i mitten av 1990-talet. Den ugnen ligger i ett område där det fanns ett överskott på syrgas på grund av efterfrågan på kvävgas från annan industri.

På sidan 155 i BAT-dokumentet, näst sista stycket, finns resonemang om att även om det inte finns några fundamentala tekniska invändningar är det fortfarande många allvarliga reservationer, t.ex. hur det går med slitaget av teglet i ugnen. En reservation för Pilkingtons tillverkning i Halmstad är att den ugnen är mer än dubbelt så stor som den största befintliga floatglasugnen med oxy-fuelteknik.

I BAT-dokumentet på sida 156 står i andra stycket att för en stor energieffektiv regenerativ ugn kan man nå 5 – 15 % energibesparing. Den amerikanska ugnen har en specifik energiförbrukning som är cirka 3 % lägre än den i Halmstad trots att produktionen där är hälften så stor.

Reduktioner genom förändrad elanvändning

Principen för att ersätta fossilt bränsle med elektricitet (elboost) framgår tidigare i denna rapport. Elektricitet är energieffektivt, en kWh elektricitet ersätter två kWh fossil energi. Varje kWh som användes till elboost motsvarar ett minskat utsläpp av 0,54 kg koldioxid från en oljeeldad glastillverkning²².

Total installerad effekt hos Pilkington Halmstad är 6,75 MW. Det motsvarar alltså 13,5 MW fossil effekt. På ett år blir det 118 260 MWh vilket motsvarar knappt 10 000 m³ olja eller 31 884 ton koldioxid.

Mängden elboost som kan användas är avhängigt av produktionsvolymen. Elvärmen avges direkt i glasmassan och om produktionen är låg kan det bli lokala överhettningar. Det kan i sin tur leda till kvalitetsproblem samt kraftigt slitage av ugnsbotten och elektroder.

Kostnaden för elektricitet i förhållande till fossilt bränsle har också betydelse för hur mycket elboost som användes.

Bränslebyte

Glas tillverkas genom att man eldar inne i samma ugnrum som råmaterialen befinner sig, åtminstone när det gäller standardglas och storskalig produktion. Det innebär att det inte får finnas någon aska i bränslet eftersom sådant kan ge upphov till inneslutningar i glaset. Dessutom är risken stor att regenerators direkt efter ugnen blir blockerade av aska. För att kunna använda bio-bränsle måste det göras om till vätska eller gas. Det är inte troligt att något sådant kommer fram inom den 15-årsperiod som nu är aktuell.

²² Hänsyn måste tas till produktionen av elkraft. För svenskt vidkommande med vattenkraft och kärnkraft som bas är dock koldioxidemissionen relativt liten. Vid elproduktion med kol –eller oljekondenskraftverk blir förhållandena annorlunda.

En möjlighet är dock att byta olja mot naturgas, vilket diskuteras i de ekonomiska analyserna.

6.3 Ekonomiska analyser av reduktionsmöjligheter för koldioxid

Öka mängden krossglas med 25 000 ton

Enligt uppgift är marknadspriset i Tyskland cirka 600 kr/ton krossglas till floatglasverk. Det verkar inte ekonomiskt realistiskt att få igång en sådan verksamhet. På denna korta projekttid har det inte varit möjligt att i detalj undersöka om det finns underlag för en sådan industri i Sverige. Det har dock framkommit att det kan finnas möjlighet att köpa den önskade mängden (25 000 ton) till ett pris av max 600kr/ton vilket innebär ca 5000 ton CO₂ kan reduceras till samma kostnad som idag vilket i princip betyder 0 kr/ton oavsett ränta. Det skall dock poängteras att det avgörande för om denna åtgärd är möjlig är kvaliteten på krossglaset, vilket ej har hunnits utredas.

Bränslebyte till naturgas

Det enklaste sättet att snabbt minska utsläppet av koldioxid är att elda med naturgas i stället för olja. Det finns inget behov av någon investering eftersom alla delar finns på plats. Det enda hindret är att naturgasen är för dyr. Vid en produktion på 5150 ton per vecka (268 521 ton per år), 15 % krossglas och 3 MW elektricitet skulle Pilkington i Halmstad släppa ut 27 879 ton mindre koldioxid per år. Med nuvarande offerter för naturgas skulle varje ton minskad koldioxid kosta 646 kr oavsett vald ränta.

Reduktion genom ökad elanvändning

En ökning av elanvändningen på Pilkington med 1,85 MW skulle medföra 8 738 ton i minskade utsläpp av CO₂ lokalt. Kostnaden för detta uppskattas vara negativ -137 kr/ton, men är väldigt beroende av relationen mellan olika bränslepriser.

7 Glasullsindustrin

7.1 Processer och anläggningar²³

Glasullsindustrin representerar ca 6-7 % av den totala glasproduktionen inom EU. Branschen som helhet omfattar både tillverkning av glasull och stenull vilka brukar sammanfattas under benämningen mineralull. EU domineras av fem stora tillverkare; Saint-Gobain, Rockwool International, Partek Insulation, Pfeiderer and Owens Corning. I Sverige finns en tillverkare av glasull - Saint-Gobain Isover AB.

Glasull är glas som formats till fibrer och sammanfogats med ett bindemedel till lämplig form. Ungefärlig sammansättning av glasull respektive stenull visas i nedanstående tabell.

| Mineralull | SiO ₂ | Alkali oxider | Oxider av alkaliska jordartsmetaller | B ₂ O ₃ | Järnoxider | Al ₂ O ₃ | TiO ₂ | P ₂ O ₅ |
|------------|------------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------|------------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|
| Glasull | 57 - 70 | 12 - 18 | 8 - 15 | 0 - 12 | <0.5 | 0 - 5 | Trace | 0 - 3 |
| Stenull | 38 - 57 | 0.5 - 5 | 18 - 40 | Trace | 0.5 - 12 | 0 - 23 | 0.5 - 4 | 0 - 3 |

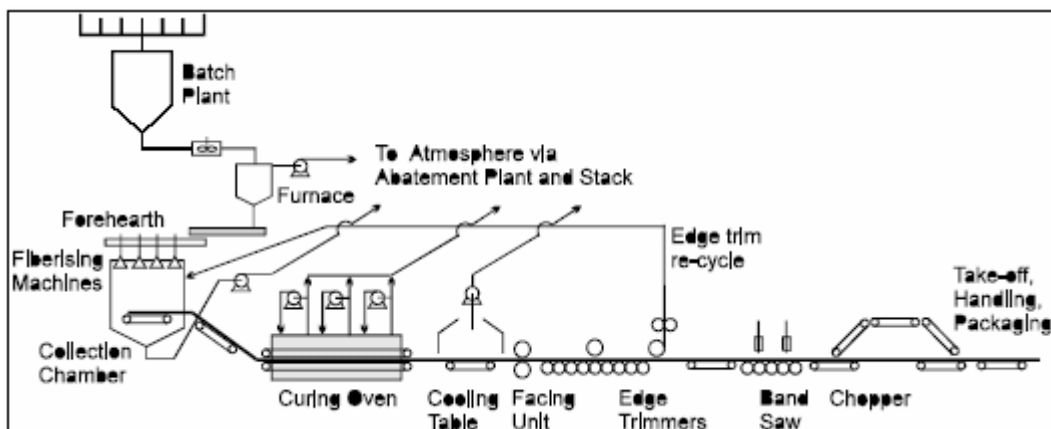
Tillverkningen kan indelas i följande steg:

²³ Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on, Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry, December 2001, EUROPEAN COMMISSION.

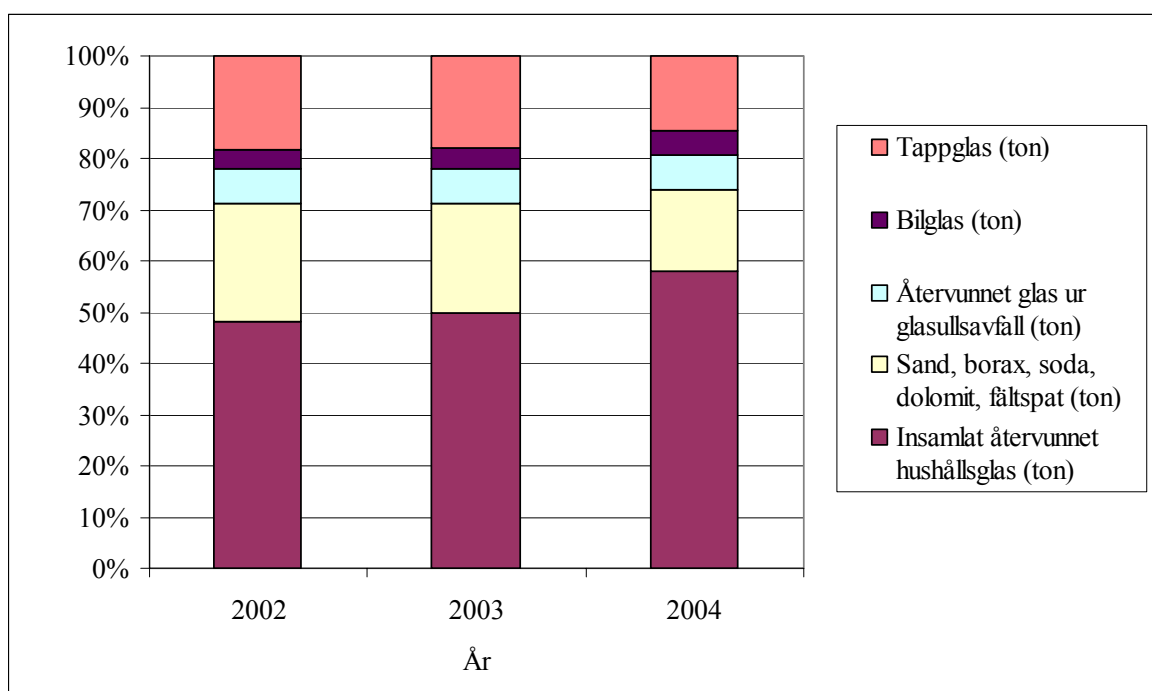
1. Framtagning av råmaterial
2. Smältning
3. Fiberformning av smältan
4. Applicering av bindemedel
5. Formning av slutprodukten
6. Härdning
7. Kylning
8. Slutbehandling av utgående produkter

En schematisk bild av produktionsprocessen för glasull visas i figur 26. Råmaterialen till glasullstillverkningen kan variera avsevärt mellan olika tillverkare men basmaterialet inkluderar vanligen sand, soda, dolomit, kalksten, natriumsulfat, natriumnitrat samt aluminium- och borhaltiga mineral. Både externt och internt återvunnet glas kan också användas i produktionen. Kvaliteten på det återvunna glaset är här en viktig aspekt. Återvunnen glasull innehåller organiska bindemedel vilket ger begränsningar för användningen i processen. Råmaterialen blandas batchvis och lagras i tankar före satsning i smältugnen.

Råmaterialblandningen den s.k. mängen består i den svenska produktionen av insamlat återvunnet hushållsglas, glasråvaror (huvudsakligen sand, borax, soda och dolomit), tappglas (avtappat överskottsglas från fibreringen) och oxymeltglas (upparbetat glasullsavfall). I figur 27 visas glassammansättningen vid den svenska tillverkningen.



Figur 26 Schematisk bild av tillverkningsprocessen för glasull.



Figur 27 Fördelning i glassammansättningen vid den svenska glasullstillverkningen. Tappglas och en del återvunnet glasullsavfall är interncirkulerat glas medan övriga poster utgör inkommande råvaror.

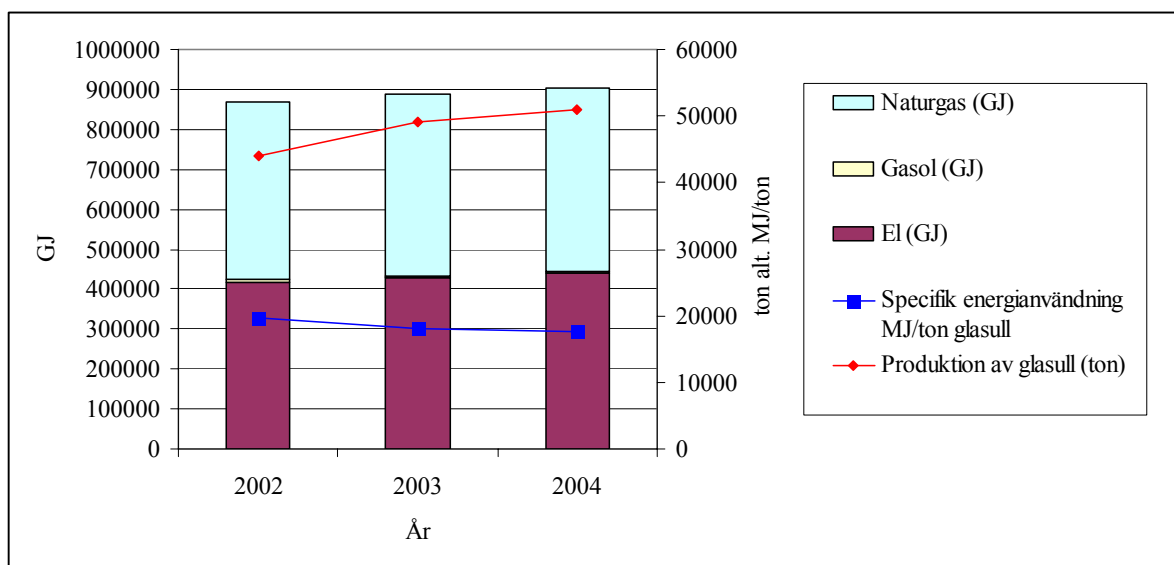
Råmaterialen smälts därefter i en glasugn. Glasugnarna är vanligen antingen elektriskt uppvärmda eller traditionella gaseldade rekuperativa ugnar. En rekuperativ ugn betecknar en ugn med en för små ugnar vanlig form av energiåtervinningssystem. I denna ugn värms ingående luft med utgående rökgaser oftast med en värmeväxlare av metall (keramiska värmeväxlare förekommer). Detta begränsar förvärmningstemperaturen till 800 °C. I övrigt liknar ugnen den regenerativa beskriven i kapitel 6.1. I jämförelse med den regenerativa ugnstypen ger den rekuperativa ugnen en lägre energiåtervinning. Detta kan ibland kompenseras med en ökad energiåtervinning genom t.ex. förvärmning av ingående råmaterial eller användning vid ångproduktion. Den specifika smältkapaciteten (smältkapacitet per m² ugnsyta) är också lägre för den rekuperative ugnen, 2 ton/m²/dag mot 3,2 för den regenerativa ugnen. ”Electric boost” kan också användas för att öka smältkapaciteten.

Även helt elektriska smältugnar förekommer. Tekniken bygger på resistiv uppvärmning genom att ström leds genom det smälta glaset. En fossil värmekälla behövs dock vid uppstart av ugnen. Ugnen matas med råmaterial i toppen som successivt smälter ned i glassmältan. Ugnarna är avsedda för kontinuerlig drift och livstiden är 2-7 år. Elektriskt uppvärmda ugnar används företrädesvis för små ugnar då värmeförlusterna för små fossileldade ugnar tenderar att bli höga. Energiutnyttjandet i en elektrisk ugn är två till tre gånger bättre än i en fossileldad ugn om man jämför energin som elkraft. Därtill kommer givetvis verkningsgraden för produktionen av elkraft.

En fördel med en elektriskt uppvärmd ugn är också ett lågt avgasflöde med få föroreningar. Eftersom ingen fossilbränsleförbränning förekommer bildas ingen koldioxid, svaveldioxid eller termisk NO_x. Däremot bildas en del koldioxid från råmaterialiet. Kväveoxider kan emellertid bildas från natrium- och kaliumnitrater vilka tillsätts i processen. Vid ett systemperspektiv måste givetvis hänsyn tas till produktionen av elkraft. För svenskt vidkommande med en elproduktion bestående av vattenkraft och kärnkraft blir emissionerna låga och detta gäller även emissionen av koldioxid.

Vid den svenska produktionen av glasull används el för smältning av glasråvarorna i vannorna. Naturgas används i brännarna till feedrarna, till härdugnarna och till oxymeltanläggningen samt i ångcentralen. Som drivmedel för truckar används gasol. En separat oxymeltanläggning²⁴ finns således för återvinning av glasullsavfall. I figur 28 visas fördelningen av olika energislag vid den svenska tillverkningen.

Vid den efterföljande fibreringen pressas det smälta glaset under inverkan av centrifugalkraften genom små hål i roterande munstycken s.k. spinnare och formas till fibrer som tänjs ut med hjälp av en het gasström från en höghastighetsbrännare. Efter fiberformningen sprayas fibrerna med ett ureamodifierat fenolformaldehydharts som bindemedel. Materialet formas till önskad form och får därefter passera en gaseldad ugn varvid materialet upphettas till ca 200 °C. Materialet torkar därmed och bindemedlet härdar. Materialet kyls därefter ner, skärs upp i bitar och packas.



Figur 28 Energislagsfördelning, specifik energianvändning samt produktionen för åren 2002-2004 vid den svenska glasullstillverkningen.

7.2 Tekniska reduktionsmöjligheter för koldioxid

Mineralull använd i huvudsak som värmeisoleringsmaterial även om andra användningsområden förekommer som t.ex. ljudisolering och brandskydd. Syftet med tillverkningen av mineralull är således att minska energiförbrukningen i samhället. För detta ändamål är materialen mycket effektiva. Tillverkningen av isolermaterialen är dock relativt energiintensiv. En energiförbrukning vid tillverkningen skall alltså ställas mot en energibesparing under materialets användningsfas.

Tre processteg dominerar energiförbrukningen vid tillverkningen; glassmältningen, fiberformningen och härdningen/torkningen. De vanligaste energikällorna är naturgas och elenergi. Den totala energiförbrukningen samt fördelningen mellan de olika processtegen framgår av tabell 11. Tabellen avser drift med fossilgaseldning. Vid eldrift är den totala energiförbrukningen 3,0–5,5 GJ/ton färdig produkt. Energiförbrukningen vid eldrift är ungefär 1/3 av förbrukningen vid fossilbränsleeldning.

²⁴ Beskrivning se kapitel 6.

Tabell 11 Energianvändning vid mineralullstillverkning med naturgas.

| | Glasull | Stenull |
|---|----------------|----------------|
| Total energiförbrukning, GJ/ton färdig produkt (fossil gas) | 11 - 22 | 7 - 18 |
| Glassmältning, % av total energiförbrukning | 20 - 45 % | 30 - 70 % |
| Fiberformning, % av total energiförbrukning | 25 - 35 % | 25 - 35 % |
| Härdning och torkning, % av total energiförbrukning | 25 - 35 % | 25 - 35 % |
| Övrigt, % av total energiförbrukning | 6 - 10 % | 6 - 10 % |

Som framgått av processbeskrivningen bygger den svenska tillverkningen på glassmältning med elenergi och naturgasförbränning för övrig energigenerering. Detta är en för svenska förhållande optimal lösning med avseende på koldioxidemissionen²⁵. Det kan därför vara svårt att hitta ytterligare reduktionsmöjligheter för koldioxid. På marginalen kan dock vissa ytterligare reduktionsmöjligheter för koldioxid finnas.

Ett fortlöpande energieffektiviseringsarbete pågår sedan länge hos tillverkaren. Ett starkt mål för tillverkaren är att minska energiförbrukningen både av miljömässiga och ekonomiska skäl. Detta sker genom att mål fastläggs och revideras regelbundet. De mål som fokuseras är bl.a.

- Energianvändning per tillverkat ton skall minska.
- Produktionseffektiviteten skall höjas för att därigenom minska antalet produktionstimmar per tillverkat ton.
- Mål för reklamationer har ansatts för att därigenom minska mängden returer och spill.
- Inget glasfiberavfall får gå till deponi.

Mellan åren 2002 och 2004 har vissa energibesparande åtgärder vidtagits vilket resulterat i en liten energieffektivisering. Som framgår av figur 27 så har mängden insamlat återvunnet hushållsglas ökat i produktionen. Likaså har mängden jungfruligt glas och mängden cirkulerat tappglas reducerats. Det går åt mindre energi för att smälta återvunnet hushållsglas än för att producera jungfruligt glas. Detta har resulterat i en minskning av den specifika energianvändningen från 19,7 GJ/ton glasull till 17,7 GJ/ton d.v.s. en reduktion med 10 %. Det finns emellertid begränsningar i materialsammansättningen vilket gör att ytterligare åtgärder blir svåra. En genomgång av reduktionsmöjligheterna för koldioxid har gjorts nedan.

Energieffektiviseringar

Arbetet med att energieffektivisera produktionen har pågått under en lång följd av år med goda resultat. Endast försumbara åtgärder bedöms återstå att göra.

Bränsleförändringar

Idag används främst el och naturgas i produktionen. Då naturgas främst består av metangas har detta bränsle ett lågt C/H-förhållande och är således bland de bästa av de fossila bränslena ur ett koldioxidperspektiv. Användning av el i Sverige ger också upphov till låga koldioxidutsläpp. Här finns således inga förbättringar att göra. Enda möjligheten skulle vara att byta till något biobränsle men någon sådan teknik finns inte utvecklad och det är tveksamt om det överhuvudtaget är aktuellt.

Förändringar i material/ råvarusammansättningen

Arbetet med att kunna använda insamlat återvunnet hushållsglas, bilglas och interncirkulerat glas har pågått sedan länge. Användningen har stadigt ökat och ligger nu på en hög nivå som framgår av figur 27. Av tillverkningstekniska skäl bedömer man dock att man nått gränsen för andelen återvunnet glas i produktionen varför inga förbättringar kan förväntas genom materialsubstitutioner.

²⁵ Detta förutsätter nuvarande produktionsförhållande för svensk elkraft. Vid en kärnkraftsavveckling eller då marginalproduktion av el används kan förhållandena bli annorlunda.

Användning av restvärme för extern uppvärmning - fjärrvärmeanvändning

Denna möjlighet har utretts i industrin och visat sig innehålla flera svårigheter. Avgasttemperaturen är låg (ca 40-50 °C) med stort flöde (ca 240 000 Nm³/h), korrosionsproblem i värmväxlare finns och avsaknad av lämplig kund i närheten har gjort att värmeåtervinningsprojektet lags ner. Ett bostadsområde i närheten av fabriken har haft uppvärmning från fabriken men denna fjärrvärmeapplikation har lags ner då det var enklare och billigare för bostadsområdet att använda naturgas.

Reduktion av koldioxid under användningsfasen

Som tidigare påpekats är huvudsyftet med tillverkningen av isolermaterial ofta att reducera användningen av energi vid användningen av isolermaterialet. Även om tillverkningen av isolermaterialet kräver energi så sker en besparing av energi under användningsfasen. En viktig tillämpning av isolermaterial är för isolering av bostäder. Energianvändningen i bostadssektorn är en betydande del av Sveriges totala energianvändning. Detta är därför en viktig aspekt vid en bedömning av ett isolermaterial ur ett CO₂-perspektiv. Det är inte möjligt i denna studie att göra en djup analys av alla de olika aspekter som finns vid produktion och användning av isolermaterial där även hänsyn måste tas till hur energiproduktionen sker i landet och dess framtida utveckling m.m. Det kan ändå vara värdefullt och tillräckligt illustrativt att göra en enkel överslagsberäkning av en isolerapplikation i en vägg. Genom detta kan man få en uppfattning om energibalansen vid användningen av isolermaterial. Sparar man mera energi under användningsfasen än det åtgår vid tillverkningen?

Antag en jämförelse mellan en oisolerad vägg (äldre väggtyp som användes innan mineralull fanns på marknaden) och en isolerad vägg med 250 mm tjockt glasullsskikt belägen i Stockholmstrakten och med en antagen inomhustemperatur om 22 °C. Den oisolerade väggen kan då antas läcka ca 146 kWh/år och m² medan den isolerade väggen kan antas läcka 19,5 kWh/år och m². Detta innebär en energibesparing på 146-19,5 = 126,5 kWh/år och m² alltså för varje m² tillverkad glasull. Vid tillverkningen av 1 m² glasull med en tjocklek av 250 mm åtgår 17,5 kWh. Antas som exempel en livslängd om 50 år på isoleringen blir den totala energibesparingen 6325 kWh/m². Energianvändningen vid tillverkningen motsvarar då endast 0,28 % av energibesparingen. Om oljeeldning antas för ett hus med en oljepanna som har en verkningsgrad av 80 % motsvarar den årliga energibesparingen 15,2 liter olja/år och m² vägg eller 41 kg CO₂/år och m² vägg.

7.3 Ekonomiska analyser av reduktionsmöjligheter för koldioxid

Då glasullsindustrin i dagsläget inte anser att ytterligare åtgärder är möjliga för att reducera CO₂ från sin produktion, kan inga beräkningar göras.

8 Förpackningsglasindustrin

8.1 Processer och anläggningar

Endast en tillverkare av förpackningsglas finns i Sverige - Rexam Glass Limmared AB (RGL). Rexam Glass Limmared AB tillverkar och efterbehandlar förpackningsglas. Verksamheten omfattar således inte enbart en ren glasproduktion utan en omfattande vidareförädling av det producerade glaset. Efterbehandlingsverksamheten har visat på en ökande omfattning och sysselsätter numera nästan hälften av personalen. Antalet anställda är idag ca 420. Denna vidareförädling av produktionen innebär också en ökad energianvändning och en ökad CO₂-emission. De flesta

glasbruk omfattar inte någon efterbehandling och om sådan efterbehandling sker utförs den på extern basis. Detta är en viktig aspekt vid en jämförelse mellan olika förpackningsglasstillverkare. Kvalitetskraven på produkterna är en annan viktig aspekt att beakta. Olika glasbruk kan tillverka helt olika produkter varför det kan vara svårt att direkt jämföra olika tillverkare.

Smältning av råvaror till glas sker i två kontinuerliga glassmältningsugnar. I den ena och större av ugnarna produceras ofärgat glas, i den andra mindre av ugnarna produceras brunt glas i två kampanjer/år och ofärgat glas i två kampanjer/år. Råmaterialet för glasframställning består av sand, soda, kalksten, dolomit, fältspat och krossglas. Energigivare i ugnarna är lågsvavlig tjockolja och gasol. Tillverkning av förpackningar sker i fem helautomatiska glasmaskiner. De färdiga förpackningarna kyls i kontinuerliga kylugnar varefter de kontrolleras och förpackas. Produktionen sker helkontinuerligt med uppehåll för underhållsarbeten. Ugnarna släcks vid ombyggnad vart 8-9 år. Tillståndsgiven produktionskapacitet är 450 ton smält glas per dygn.

Efterbehandling av de färdiga produkterna sker för närvarande i form av mattetsning genom syrabehandling, och genom dekorerings med screentryck. Screentrycksfärgerna härddas vid hög temperatur i kontinuerliga brännugnar med gasol som energigivare.

Inkommande råmaterial transporteras med järnväg och lagras i silos, krossglas transporteras med lastbil. Färdiga produkter levereras huvudsakligen till kunder med lastbil. Interna transporter sker inom industriområdet med dieseldrivna truckar.

Inom verksamheten finns en oljeeldad panncentral för internt behov av varmvatten.

År 2003 smältes 128300 ton glas, etsningsanläggningen var i drift 220 dygn och dekorationsanläggningarnas drifttid var 16600 timmar.

Verksamheten är energintensiv. År 2003 förbrukades 16100 m³ olja för glassmältningsprocessen, 2500 ton gasol, 45721 MWh elektricitet och 103 m³ dieselolja för interna transporter.

Förutom olja och gasol ger råmaterialen för glasframställning, såsom soda, kalksten, dolomit och koks, upphov till utsläpp av koldioxid. Koks tillsätts som reduktionsmedel, inte som energibärare. År 2003 förbrukades 15660 ton soda, 8130 ton kalksten, 8630 ton dolomit och 52 ton koks.

Utsläpp av koldioxid från Rexam Glass Limmared AB sker med rökgaser från glasugnar där lågsvavlig eldningsolja förbränns och råmaterialen sönderdelas. Utsläppen sker från en 100 meter hög skorsten, gemensam för de båda ugnarna. Från skorstenen vid panncentralen sker utsläpp av koldioxid från förbränning av lågsvavlig eldningsolja för interna uppvärmningsbehov. Utsläpp av koldioxid från förbränning av gasol i arbetsvannor och forehearths sker via ventilatorer i hyttans tak. Utsläpp från förbränning av gasol sker från två korta skorstenar ovanför 3 brännugnar i dekorationsavdelningarna. Skrubber inom anläggningen varifrån processutsläpp av koldioxid från användning av karbonater finns inte.

Utsläpp av koldioxid från interna transporter ingår inte i handelssystemet.

Effektiviteten i glassmältningsprocessen är hög, 91,1 % under år 2004.

8.2 Tekniska reduktionsmöjligheter för koldioxid

Processtatus jämfört med branschen (EU, globalt) beträffande energiförbrukning och koldioxidemissioner.

Rexam Glass Limmared AB är den enda tillverkaren av förpackningsglas i Sverige.

Referensdokument: Reference Document on Best Available Technique in the Glass Manufacturing Industry. December 2001. I referensdokumentet nämns inte möjligheter för reduktion av koldioxidemissionen.

Skrivningar beträffande energiförbrukningen finns i ett flertal artiklar.

Sid xi: Glastillverkning är en mycket energiintensiv process och valet av energikälla, värmningsteknik och värmeåtervinningsteknik är centrala för konstruktionen av ugn och för ekonomin i processen. Samma val är också några av de viktigaste faktorerna som påverkar miljöaspekterna och energieffektiviteten i smältningen. I allmänhet beräknas nödvändig energi för att smälta glaset till 75 % av tillverkningens totala energiförbrukning. Kostnaden för smältenergin är en av de största driftskostnaderna hos glastillverkaren och det finns således stora incitament för glastillverkare att minska sin energianvändning.

Tekniker för att reducera energianvändningen är:

- Smältteknik och ugnskonstruktion (t.ex. regenerators, rekuperators, elektrisk smältning, oxy-fuelförbränning och elektrisk boosting).
- Förbränningskontroll och bränsleval (t.ex. låg NO_x brännare, stökiometrisk förbränning, olja/gasförbränning).
- Användning av krossglas
- Sekundär värmeåtervinningsutrustning
- Krossglas/mångförvärmare

Sid 73: Några av de mera allmänna faktorerna som påverkar energiförbrukningen av fossilbränsleeldade ugnar är listade nedan. För alla anläggningar finns också platsspecifika aspekter som kan påverka emissionen per ton glas av de produkter som är relaterade till mängden använt fossilt bränsle, särskilt CO₂, SO₂ och NO_x.

- a) Kapaciteten av ugnen påverkar i stor utsträckning energiförbrukningen per ton smält glas, större ugnar är mer energieffektiva på grund av mindre yta/volym förhållande.
- b) Ugnsuttaget är mycket viktigt då de flesta ugnar har störst energieffektivitet vid störst ugnsuttag. Stora variationer i ugnsuttag förekommer i containerglasindustrin.
- c) När ugnar åldras sjunker energieffektiviteten. Mot slutet av ugnskampanjen kan energiförbrukningen per ton glas vara 20 % högre än i början av kampanjen.
- d) Användningen av elektrisk boosting förbättrar energieffektiviteten i ugnen. Elektrisk boosting används vanligen för att förbättra smältkapaciteten mera än för att förbättra energieffektiviteten.
- e) Användningen av krossglas kan minska energiförbrukningen betydligt. Som en regel medför en 10 % ökning av krossglashalten en sänkning av energiförbrukningen med 2-3 %.

Sedan 1960-talet har glasindustrin minskat sin energiförbrukning med 1,5 % per år. I dag är den siffran lägre då den termodynamiska gränsen är närmre.

Diskussion och jämförelse med förhållanden på Rexam Glass Limmared AB

Speciella förhållanden råder på RGL. Som nämnts är RGL enda tillverkaren av förpackningsglas i Sverige och har tillsammans med ett systerföretag i Danmark ca 90 % av den Skandinaviska marknaden av glasförpackningar. Marknaden består av några hundra olika produkter och av varierande storlek och vikt. Varje produktstorlek påverkar produktionsvolymen som måste vara flexibel. Vid RGL tillverkas till stor del produkter med högt ställda krav från kunder beträffande glasfärg och renhet.

- a) Ugnarna vid RGL är optimalt stora och flexibla för att kunna ta upp svängningar i produktionsvolymen på ca 50 ton från dag till dag.

- b) Detta betyder emellertid att ugnarna inte producerar hela tiden med full last eftersom stora variationer i produktionsvolym ständigt förekommer.
- c) Ugnarna måste kylas utvändigt för att kunna uppnå rimlig livslängd. När ugnsmaterialet slits och blir tunnare, ”ugnarna åldras”, ökar energiförbrukningen.
- d) Elektrisk boosting finns installerad på ugnarna hos RGL och används för att förbättra smältkapaciteten.
- e) Vissa produkter måste tillverkas med lägre krossglasblandning vilket gör att energiförbrukningen ökar per ton glas.
- f) Mängfövärmning innebär att det blandade råmaterialet för smältning värms upp med hjälp av avgasvärme. Härigenom kan ca 15 % av tillförd primär energi besparas. En förutsättning för att kunna ansluta ugnsggregatet till en mängfövärmare är att krossglashalten överstiger 60 %. RGL har en krossglashalt på ca 40 %. En annan förutsättning är att råmaterialet är torrt (torkat). För att undvika energibehovet för att torka sand, använder RGL naturfuktig sand.

Sid 76: Containerglas.

1997 fanns i Europa 295 glasugnar i drift på 140 industrier

Glasindustrin Medel 80 % (P10-P90) jämfört med RGL

| | Enhet/ton smält glas | Intervall | Medel | Rexam Glass Limmared AB år 2004 |
|--------------------------------------|----------------------|--|-------|---------------------------------|
| Ugnstyp | | Korseldade regenerativa, endeldade regenerativa, rekuperativa, elektriska, oxy-fuel eldade | | Endeldade regerativa |
| Smält glas år 2004 ugn 10 | ton/dygn | 100-360 | | 122 |
| Smält glas år 2004 ugn 12 | ton/dygn | 100-360 | | 254 |
| Energi sid 80 | GJ | 3,9-6,4 | | 4,7-5 ¹⁾ |
| Energi, väsentligaste, sid 82 | GJ | 4,5-7,0 | | 4,7-5 ¹⁾ |
| Energi /ton packade produkter sid 82 | GJ | 6,5-9,0 | | 5,2-5,5 ¹⁾ |
| CO ₂ sid 76 | kg | 300-1000 | 430 | 531 |
| Krossglashalt | % | 18-80 | | 40-48 |
| Pack to melt | % | 50 -mer än 90 | | 91,1 |

1) Beräknade värden avseende endast glasproduktionen och ej efterbehandlingsverksamheten för jämförelse med EU:s BAT dokument.

Vid RGL förbrukas energi för produktion av glas och för efterbehandling av förpackningarna. Det är inte vanligt att dessa processer förekommer inom samma företag och på samma ort.

Nulägesbeskrivning av utsläppsnivån av CO₂

Koldioxid bildas vid Rexam Glass Limmared AB vid sönderdelning av råmaterialen soda (NaCO₃), kalk (CaCO₃), dolomit (CaCO₃-MgCO₃) och koks (C) samt vid förbränning av energigivarna eldningsolja och gasol.

Möjligheten att minska koldioxidemissioner från råmaterialen.

Storleken av glasproduktionen har en liten men ökande trend, varför emissionerna förväntas öka totalt sett.

Enda möjligheten att minska koldioxidemissionen per ton smält glas är att blanda in större mängd krossglas i råvarorna. RGL tillverkar idag brunt glas med 60 % krossglas och ofärgat glas med ca 40 % krossglas. Detta är vad som finns med säkerhet tillgängligt i Sverige. Att tillverka glas med

stor (större) mängd krossglas ger oönskade effekter i form av färgpåverkan i färdig produkt. Krav på våra produkters färg och renhet ställs från våra kunder både på ofärgade produkter och bruna produkter (medicinförpackningar med UV-skydd).

Möjligheterna att minska koldioxidemissioner från förbränning av energigivare.

(Se under andra rubriker i texten)

Utsläppsnivåer av koldioxid.

I samband med handelssystemet för koldioxid upprättades ansökningshandlingar med följande uppställning som grund, tabell 12. Som synes har RGL även ansökt som ny deltagare på grund av utvidgad efterbehandlingsprocess i slutet av år 2004. I tabell 13 visas fördelningen mellan eldningsolja och gasol. I figur 29 visas vidare utvecklingen av CO₂ emissionen tillsammans med glasproduktionen för åren 1996 till 2004. Till sist visas den senaste utvecklingen för år 2005 (januari till maj), tabell 14.

Tabell 12 CO₂ emissionen för RGL enligt den nationella allokeringsplanen.

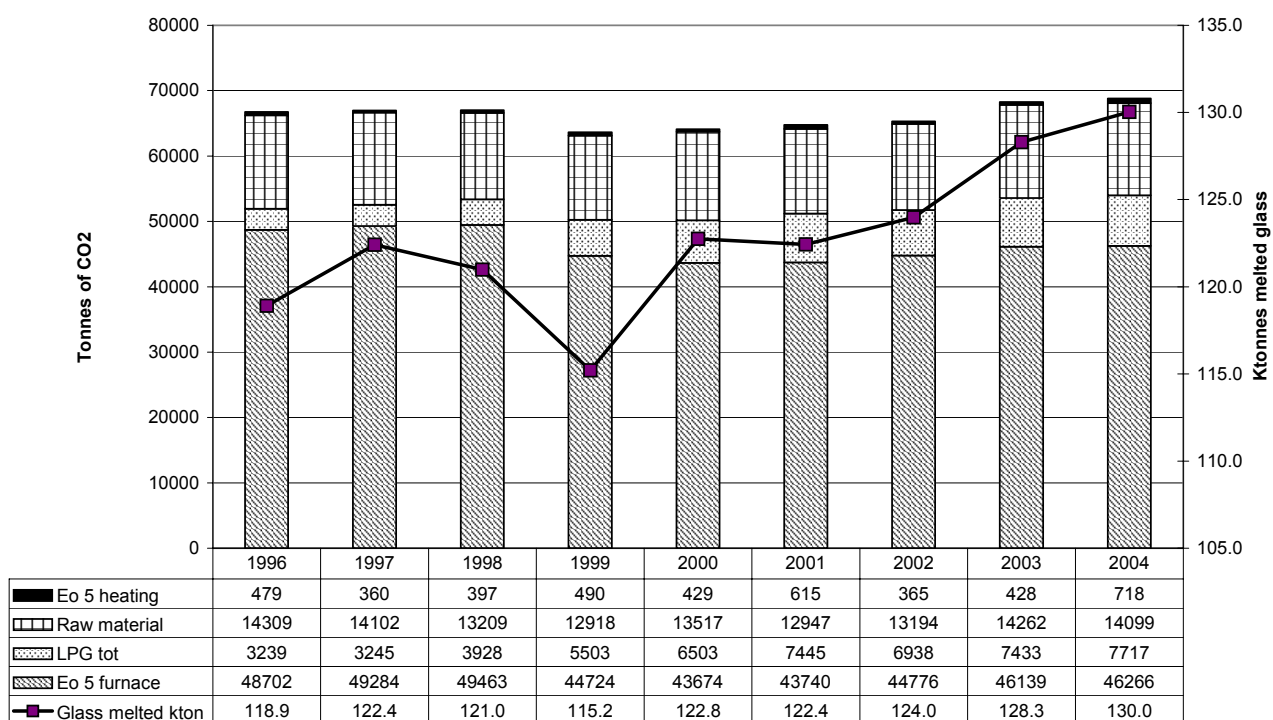
| År | Smält glas | CO ₂ från | | totalt CO ₂ | | Tilldelning |
|-------------------|------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------|-------------|
| | | Energi CO ₂ | Råvara CO ₂ | | | enl. NAP |
| 1998 | 120366 | 53788 | 13209 | 66997 | | |
| 1999 | 116510 | 50716 | 12918 | 63635 | | |
| 2000 | 123510 | 50685 | 13516 | 64201 | | |
| 2001 | 123207 | 51799 | 12946 | 64745 | | |
| 2002 | 125031 | 52082 | 13194 | 65276 | | |
| 2003 | 128290 | 54000 | 14262 | 68263 | | |
| M 98-01 | 120898 | 51747 | 13239 | 64986 | | |
| 2004 | 130023 | 54825 | 14099 | 68923 | | |
| Inkl ny deltagare | | | | | | |
| 2005 | 130311 | 57684 | 14476 | 72160 | Behov | 70416 |
| 2006 | 136615 | 61333 | 15173 | 76506 | Behov | 73958 |
| 2007 | 139766 | 63859 | 15525 | 79384 | Behov | 75757 |

Tabell 13 Uppdelning koldioxidemission mellan eldningsolja och gasol.

| År | Bränsletyp | Mängd m ³ | Effektivt | Emissionsfaktor ton CO ₂ /GJ | Oxidation faktor | Utsläpp ton CO ₂ |
|---------|------------|-------------------------|----------------------------------|--|---------------------|--------------------------------|
| | | | värmevärde GJ/nm ³ | | | |
| 1998 | Olja Eo5 | 17233 | 38,16 | 0,0762 | 0,995 | 49859 |
| 1999 | Olja Eo5 | 15627 | 38,16 | 0,0762 | 0,995 | 45213 |
| 2000 | Olja Eo5 | 15243 | 38,16 | 0,0762 | 0,995 | 44102 |
| 2001 | Olja Eo5 | 15330 | 38,16 | 0,0762 | 0,995 | 44354 |
| 2002 | Olja Eo5 | 15603 | 38,16 | 0,0762 | 0,995 | 45143 |
| 2003 | Olja Eo5 | 16095 | 38,16 | 0,0762 | 0,995 | 46567 |
| M 98-01 | Olja Eo5 | 15858 | | | | 45882 |
| 2004 | Olja Eo5 | 16282 | 38,16 | 0,0762 | 0,995 | 47108 |

| År | Bränsletyp | Mängd ton | Effektivt | Emissionsfaktor ton CO ₂ /GJ | Oxidation faktor | Utsläpp ton CO ₂ |
|---------|------------|--------------|----------------------|--|---------------------|--------------------------------|
| | | | värmevärde GJ/ton | | | |
| 1998 | Gasol | 1317 | 46,05 | 0,0651 | 0,995 | 3928 |
| 1999 | Gasol | 1845 | 46,05 | 0,0651 | 0,995 | 5503 |
| 2000 | Gasol | 2207 | 46,05 | 0,0651 | 0,995 | 6583 |
| 2001 | Gasol | 2496 | 46,05 | 0,0651 | 0,995 | 7445 |
| 2002 | Gasol | 2326 | 46,05 | 0,0651 | 0,995 | 6938 |
| 2003 | Gasol | 2492 | 46,05 | 0,0651 | 0,995 | 7433 |
| M 98-01 | Gasol | 1966 | | | | 5865 |
| 2004 | Gasol | 2587 | 46,05 | 0,0651 | 0,995 | 7717 |

Emission of CO2 Rexam Glass Limmared AB 1996-2004



Figur 29 Figur visande glasproduktionen och CO₂ emissionen vid RGL för åren 1996-2004. Figuren visar hela tillverkningen d.v.s. både glasbruksverksamheten och efterbehandlingsverksamheten.

Tabell 14 Detaljerad uppföljning av koldioxidemissionen för januari till maj år 2005.

| | Utsläppt mängd koldioxid från | | | | | | | |
|----------|-------------------------------|--------|---------|-------|------------|---------|--------|--------|
| | Råmaterial | | | | Subtotal | Olja | Gasol | Totalt |
| | Soda | Kalk | Dolomit | Koks | Råmaterial | | | |
| | ton | ton | ton | ton | ton | ton | ton | ton |
| Januari | 618,29 | 342,30 | 366,49 | 6,49 | 1333,57 | 3913,89 | 671,26 | 5919 |
| Februari | 581,14 | 317,91 | 349,04 | 6,22 | 1254,32 | 4355,67 | 642,17 | 6252 |
| Mars | 478,00 | 262,43 | 289,02 | 13,85 | 1043,30 | 3661,39 | 706,94 | 5412 |
| April | 464,58 | 258,22 | 284,85 | 21,42 | 1029,06 | 4192,24 | 686,06 | 5907 |
| Maj | 627,65 | 349,93 | 381,92 | 22,45 | 1381,95 | 3995,19 | 671,83 | 6049 |

Tidigare gjorda reduktioner av CO₂/energieffektiviseringar – historik.

Reduktioner av CO₂ från råmaterial:

Krossglashalten har ökat successivt efter tillgång och renhet. RGL balanserar nu med avseende på tillgång och kundkrav och kan för närvarande inte komma längre.

Reduktioner av CO₂ från energi:

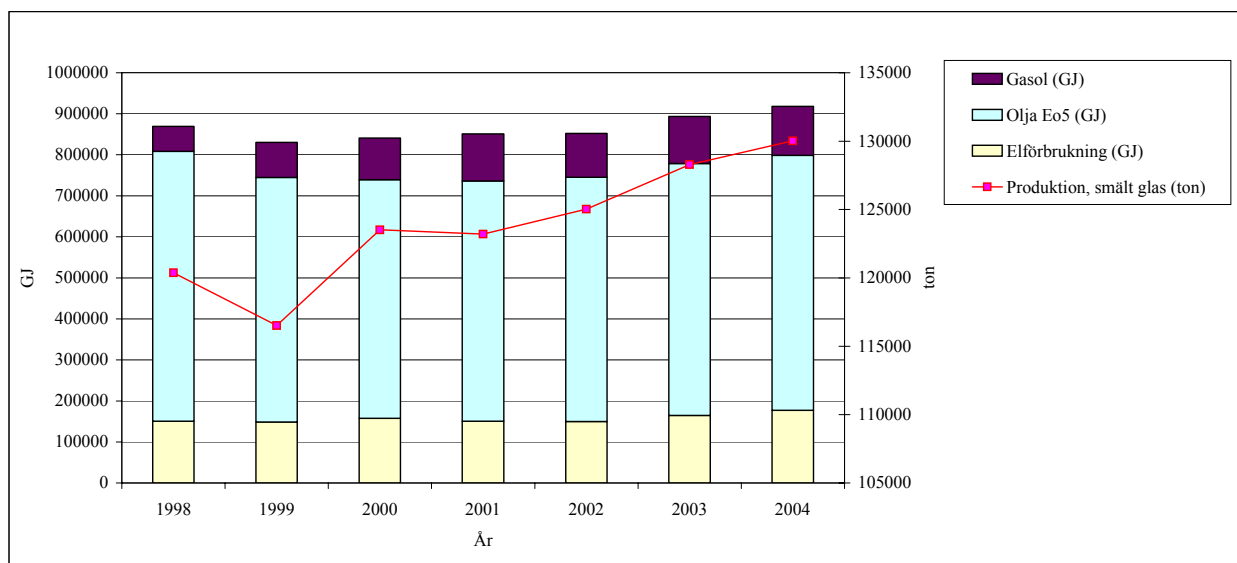
Antalet ugnar på RGL har minskats från 4 till 3 år 1975 och till 2 år 1987. Dock har givetvis ugnarna blivit större. Ugnarna släcks och byggs om/renoveras vart 8-9 år. Vid varje ombyggnad optimeras konstruktionen till "best practice" med avseende på produktionsförhållanden, materialtyper, emissioner och energiprestanda. Senaste ombyggnader var år 1999 och 2000. Nästa ombyggnader kommer 2007 och 2009.

Energiförbrukning med bränsle/energislagspecification.

Användningen av fossila bränslen har visats i tabell 13 tillsammans med korresponderande CO₂-emission. Förbrukningen av elenergi för produktionen framgår av tabell 15. Som framgår av tabellen har elförbrukningen ökat något de senaste åren. En översikt över den totala energianvändningen vid RGL:s produktionen återfinns i figur 30. Den dominerande energikällan är eldningsolja även om användningen av elenergi och gasol inte är försumbara. Energianvändningen är här fördelad mellan glassmältningen och efterbehandlingen. Under tidsperioden har produktionen ökat något från ca 120000 ton till ca 130000 ton.

Tabell 15 Förbrukning av elenergi vid den svenska tillverkningen av förpackningsglas.

| År | Elförbrukning (MWh) |
|------|---------------------|
| 1998 | 41918 |
| 1999 | 41284 |
| 2000 | 43796 |
| 2001 | 41945 |
| 2002 | 41603 |
| 2003 | 45721 |
| 2004 | 49256 |



Figur 30 Översikt över energianvändningen vid RGL:s tillverkningen. Figuren visar hela tillverkningen inklusive glassmältning och efterbehandling. Värdena är därför inte jämförbara med generella data för förpackningsglasstillverkning.

Möjliga reduktionsåtgärder (reduktionsscenarioer) för CO₂ inom förpackningsglasindustrin fram till 2010

Storleken av glasproduktionen har en liten men ökande trend, varför emissionerna förväntas öka totalt sett.

1. Installation av utrustning för värmeåtervinning från avgaser för internt bruk före år 2007 kommer att minska förbrukningen av eldningsolja med ca 250 m³/år motsvarande koldioxidemission ca 720 ton/år. Investeringskostnad 4,45 MSEK. Utredning har gjorts tillsammans med Sydkraft i syfte att komplettera fjärrvärmecentralen för Tranemo samhälle med återvunnen värme från Rexams värmeåtervinningsanläggning men projektet har lagts ned på grund av att det är ekonomiskt ointressant för Sydkraft.
2. Konvertera Rexam Glass Limmared AB från eldningsolja och gasol till naturgas under år 2007 och 2008. Då först kommer naturgas att vara tillgängligt för RGL genom en ledning speciellt byggd för RGL. Energibehovet kommer att vara ungefär lika som nu men koldioxidemissionen kommer att minska med ca 24 % jämfört med olja/gasol-förbränning 13 100 ton. Investeringskostnad 60 MSEK.

8.3 Ekonomiska analyser av reduktionsmöjligheter för koldioxid

Värmeåtervinning för internt bruk

Genom att minska oljeförbrukningen kan CO₂-utsläppen reduceras med 720 ton. Kostnaden för detta uppskattas till -85 kr/ton (6 % ränta) samt 203 kr/ton (12 % ränta).

Bränslebyte från eldningsolja till naturgas

Att ersätta eldningsoljan med naturgas uppskattas leda till att utsläppen av CO₂ minskar med 13 100 ton per år. Kostnaden för denna reduktion blir vid en 6 % ränta -81 kr/ton och 133 kr/ton vid 12 % ränta.

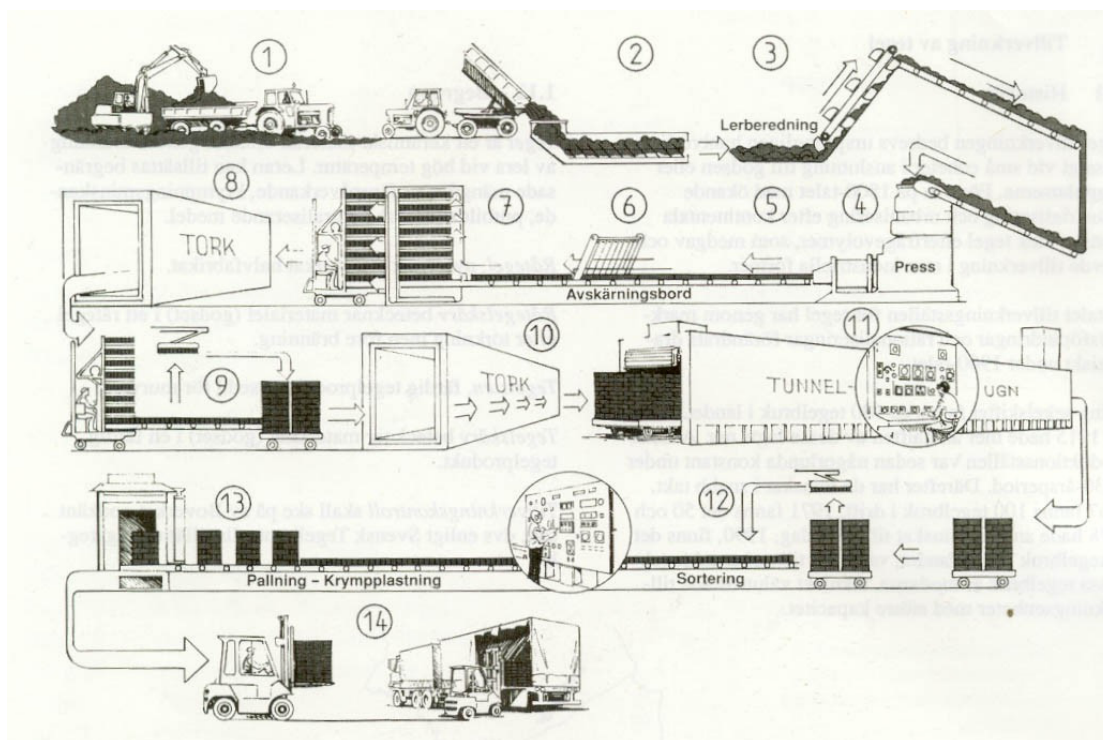
9 Tegelindustrin

9.1 Processer och anläggningar

Tegel är ett keramiskt material som fås genom bränning av lera vid hög temperatur. Flera olika typer av tegelprodukter finns för olika ändamål såsom fasadtegel, marktegel, murtegel, takpannor, skorstenstegel och eldfast tegel. Leran kan tillsättas begränsade mängder av krympningsminskande (sand), porbildande (sågsån) eller färgpåverkande (kalk, mangan) material. Tillverkningen av tegel är relativt lika för de olika tegeltyperna och beskrivs översiktligt nedan.

Tegeltillverkning kan indelas i följande steg (se principskiss):

- 1 Lerupptagning
- 2 Lerintag
- 3 Lerbearbetning inklusive tillsatser
- 4 Strängpress
- 5 Formning, ytbehandling
- 6 Avskärning
- 7 Stapling före torkning
- 8 Torkning
- 9 Sättning på ugnsvagnar
- 10 Förvärmning
- 11 Bränning i tunnelugn
- 12 Avsyning, sortering
- 13 Paketering
- 14 Lagring, utlastning



Figur 31 Schematisk bild av produktionsprocessen för tegel.

- 1 Råmaterialet, leran grävs upp från åkrar närbeläget tegelbruket. Matjorden bortschaktas och underliggande lera grävs till ett djup av ca 2 m. Leran transporteras på lastbil till tegelbruket där den läggs i en lerhög, ytan tillplattas för att hindra vatteninträngning. Under sommartid grävs lera upp för att klara produktion under ett år. När lera är uttagen ur tåkten så återställs denna enligt tåkttillstånd från länsstyrelsen. Det är lerans mineraler som bestämmer färgen. En kalkfattig lera ger en röd färg medan en kalkrik lera ger en gul färg.
- 2 Den upplagda leran körs dagligen in i fabriken för mellanlagring.
- 3 Leran transporteras genom valsverk där stenar bortsorteras och partiklar krossas till ca 1 mm storlek. Under transporten tillsätts sand, sågspån och eventuellt tegelkross. Om leran är torr tillsätts vatten och om leran är för blöt så tillsätts släckt teknisk kalk vilket har en fuktbindande funktion. Under sin transport till sumpen (mellanlagring) så bearbetas leran flera gånger. I sumpen mellanlagras leran under ca 6 veckor. Efter sumpen transporteras leran till en press för formning. Om gul, rosa eller brun sten skall tillverkas så tillsätts färgämne, kalkstensmjöl (gul, rosa) alternativt mangan (brun).
- 4 I strängpressen, vilken påminner om en skruv, pressas leran samman och passerar en vakuumkammare där luft utsugs. Denna behandling förbättrar teglets egenskaper gällande hållfasthet, frostbeständighet och måttnoggrannhet.
- 5 I utloppet från pressen sitter ett munstycke vars mått bestämmer tegelstenens längd och bredd. Ofta har munstycket en kärninsats som gör de hål som finns i tegelstenen. När lersträngen kommer ut ur munstycket bestäms vilken yta tegelstenen skall få. Det kan t.ex. förekomma slät, spånad, valsad, borstad eller sandad yta.
- 6 Efter att lersträngen passerat pressen och ytbeläggning är klar klipps strängen av och matas in i ett avskärarbord som skär upp lersträngen i enskilda tegelstenar. Måtten i avskärarbordet bestämmer höjden på tegelstenen.
- 7 Efter avskärning går tegelstenarna på lator för transport in i en elevator för att vänta på transport till torkkammare.
- 8 De nyformade tegelprodukterna skall därefter torka. Detta sker i torkkammare med överskottsvärme från tunnelugnen. Vid behov kan kompletterande uppvärmning av torkluften ske med t.ex. gasolbrännare. Varje kammare kan t.ex. ha en kapacitet av 10080 st tegel. Ett tegelbruk kan ha flera torkkammare. Tegelstenen skall nu torkas under ca 3 dygn. Under denna torkprocess som börjar vid ca 25°C och 100 % relativ fuktighet kommer tegelstenen att avdunsta ca 8 dl vatten. Torkprocessen är klar när temperaturen är 70°C och ca 6 % relativ fuktighet. I torken förekommer en viss krympning av stenen.
- 9 Efter torkningen transporteras teglet till en sättmaskin som sätter och grupperar tegelstenarna på en tunnelugnsvagn inför bränning i tunnelugnen. Hur stenarna grupperas och i vilket antal är beroende på typ av sten.

- 10 Den fullastade ugnsvagnen transporteras nu in i en förvärmare. I förvärmaren uppvärms teglet till ca 150°C och den sista fukten i stenen torkas ut. Förvärmaren får sin värmeenergi av överskottsvärme från ugnen.
- 11 Efter förvärmning transporteras vagnen in i tunnelugnen. En brännprocess som tar ca 3 dygn påbörjas nu. En tunnelugn vid ett svenskt tegelbruk är 84 m lång och rymmer 28 vagnar. Tunnelugnar kan i princip drivas med olika bränslen men gasol eller naturgas är att föredra då dessa bränslen ger en ren förbränningsmiljö för teglet. Stenen värms successivt upp under sin färd genom ugnen för att i högfyrn brännas i en temperatur av ca 1050°C. Olika förbränningstemperaturer förekommer då dessa ger olika egenskaper åt teglet t.ex. ger en högre bränntemperatur ett mera frostbeständigt tegel och ett eldfast tegel bränns också vid en högre bränntemperatur. Vid bränning med syreunderskott, reducerande bränning, kan man få en produkt med svartfläckade stenar. Efter brännzonen kommer stenen in i kylzonen innan den passerar ut ur ugnen. I kylzonen tas överskottsvärme omhand för att användas i torkar och förvärmare. Även i ugnen förekommer en viss krympning av tegelstenen.
- 12 Efter ugnen transporteras vagnen med tegel till avplockningsmaskinen. Teglet plockas av vagnen och placeras på ett kontrollband där skadade och felaktiga stenar bortplockas för att säljas som sekunda eller skrotas.
- 13 Efter sorterbandet matas stenen vidare till en pallningsmaskin som ställer stenen på en träpall. Över stenen träs en plastpåse som värmekrymps. Plasten skyddar teglet och håller det stabilt på pallen. Förpackningen etiketteras med produktens namn och tillverkningsdata.
- 14 När teglet är förpackat och klart körs det ut på lagret för förvaring i väntan på försäljning och transport till kund.

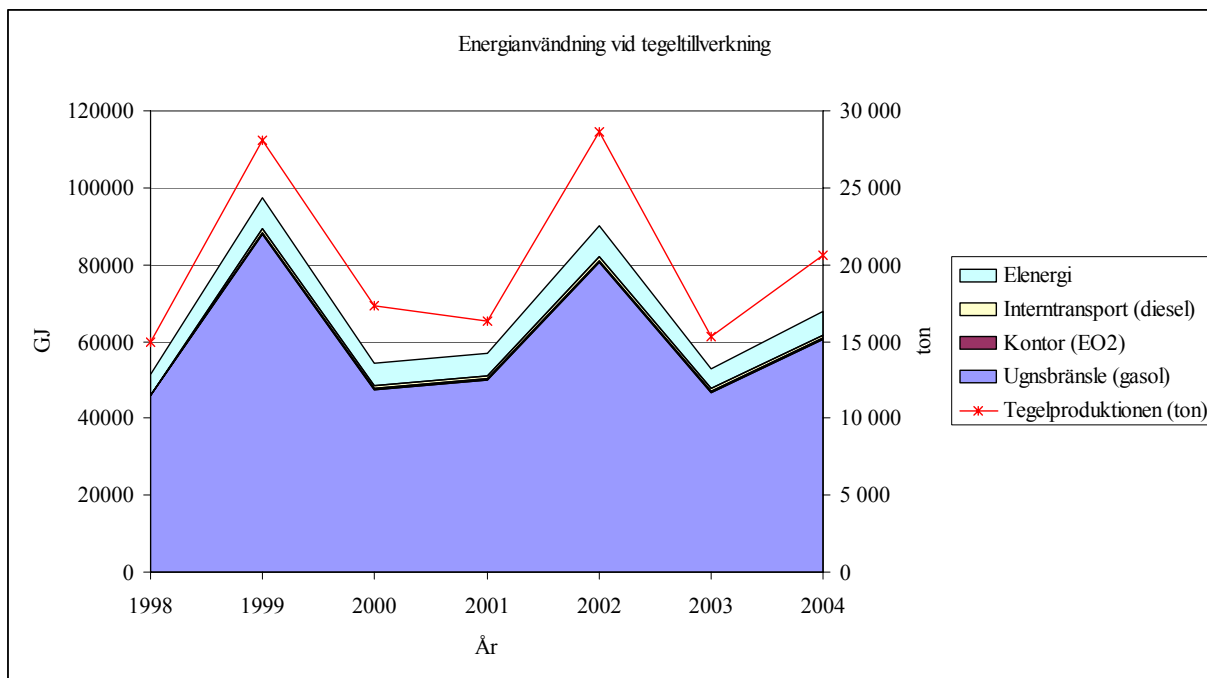
Tegeltillverkning startade i Europa på 1100-talet. Ofta var tegelbruken direkt knutna till ett specifikt byggprojekt. Sverige var tills slutet av 1960-talet rikt försett med tegelbruk. Idag återstår endast ett fåtal beroende på lågprisimport från bl.a. Polen och Tjeckien. Idag finns bara tre specialiserade tegelbruk av kvantitativ betydelse kvar i landet. Dessa är Haga tegelbruk i Enköping som tillverkar traditionell tegelsten, Vittinge tegelbruk som tillverkar taktegel och Höganäs Bjuf AB som är nordens enda tillverkare av eldfast tegel. Två ytterligare tegelbruk finns, Horns tegelbruk och Bältarbo tegelbruk, som producerar handslaget tegel och specialtegel. De har en i industrisammanhang liten produktion.

9.2 Tekniska reduktionsmöjligheter för koldioxid

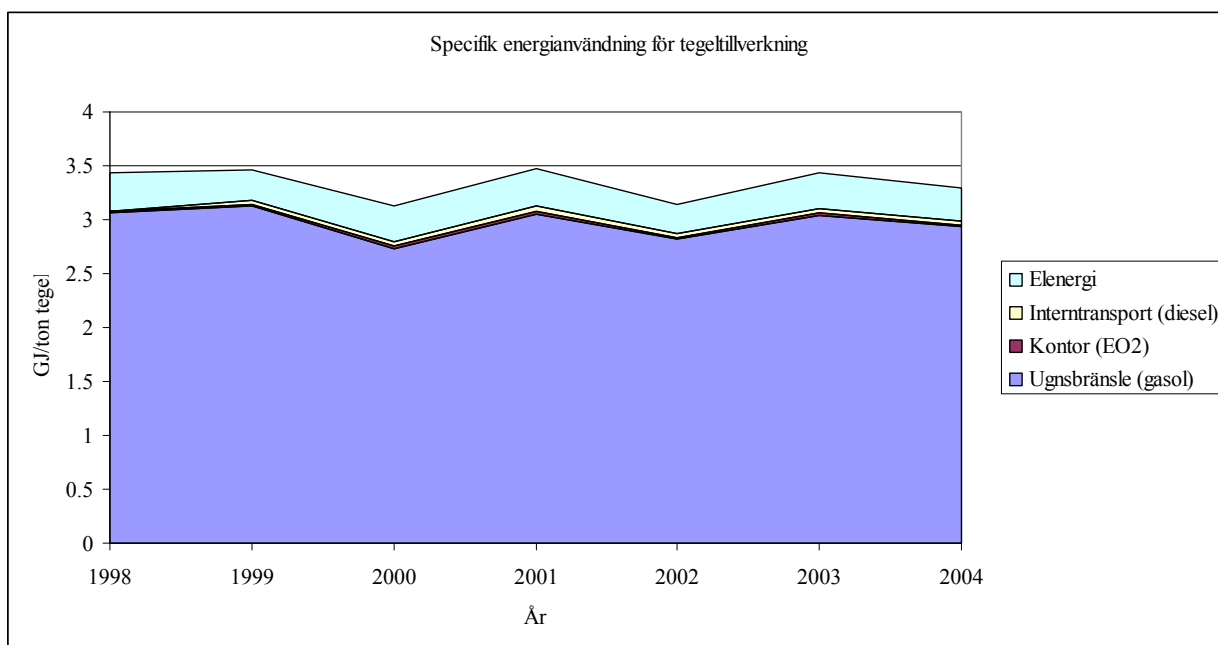
Som framgått av ovanstående beskrivning finns endast ett fåtal tegelbruk kvar i Sverige så analysen måste av nödvändighet ha sin bas i dessa anläggningar även om vissa generella utvidgningar kan göras.

Produktionsprocessen för tegel är relativt enkel även om mycket kunskap krävs för att kunna producera ett attraktivt tegel med goda tekniska egenskaper till ett konkurrenskraftigt pris. Energiförbrukningen vid tillverkningen har alltid varit en viktig faktor och utgör idag en betydande del av tillverkningskostnaden. Normalt i Europa varierar energikostnadsandelen mellan 17 % och 25 % med ett maximum upp till 30 %²⁶. Detta innebär att man i branschen länge arbetat med att reducera energiförbrukningen vid tillverkningen. Att reducera koldioxid vid tegeltillverkning är i

stort liktydigt med att reducera energiförbrukningen baserad på fossila bränslen. Lera kan också innehålla mindre mängder kalksten (CaCO_3) som vid bränning frigör koldioxid. I figur 32 och figur 33 visas energianvändningen respektive den specifika energianvändningen (energi/ton tillverkat tegel) vid ett svenskt tegelbruk under åren 1998-2004. Som framgår varierar energianvändningen kraftigt från år till år. Detta sammanhänger med kraftiga produktionsvariationer. Den specifika energianvändningen är dock stabilare med en variation om 3,1 – 3,5 GJ/ton producerat tegel.



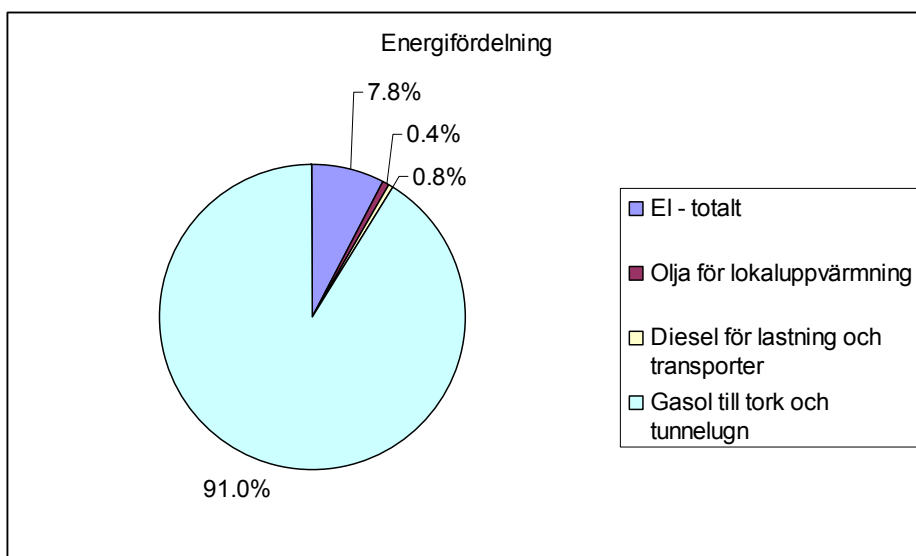
Figur 32 Energianvändning vid ett svenskt tegelbruk åren 1998-2004.



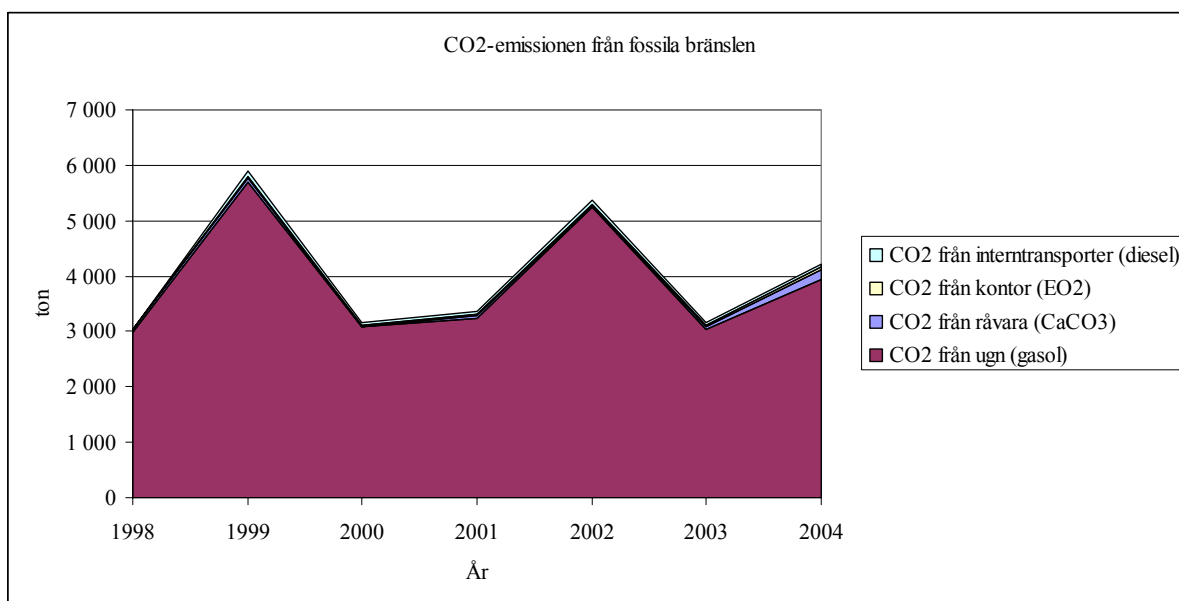
Figur 33 Specifik energianvändning i GJ/ton producerat tegel för åren 1998-2004.

Det finns också en koppling mellan tegelkvalitet och energianvändning under teglets användningsfas. En del tegel används som lning (högtemperaturisolering) i ugnar inom många industribranscher. Kvaliteten på tegelliningen är av avgörande betydelse för energiförbrukningen i dessa applikationer. Kvalitetsförsämringar i produktionen av lningtegel kan således ge upphov till ökad energiförbrukning i många andra industriapplikationer.

I kapitel 9.1 beskrivs tillverkningsprocessen för tegel stegvis. Merparten av all energiförbrukning vid tillverkningen är koncentrerad till torkningen och bränningen av teglet. Figur 34 visar fördelningen av energi vid ett tegelbruk. Som framgår dominerar energiförbrukningen av förbrukningen av gasol till torken och tunnelugnen. Dessa processer motsvarar steg 8-11 i tillverkningsbeskrivningen under kapitel 9.1. Även en del av elförbrukningen kan hänföras till denna tillverkningsdel. Åtgärder för att minska energiförbrukningen och koldioxidemissionen i andra tillverkningsdelar än steg 8-11 kan därför betraktas som försumbara. Figur 35 visar CO₂-emissionen från en svensk tegeltillverkare under åren 1998-2004. Som framgår är CO₂-emissionen mycket låg från andra delar än förbränningen i tunnelugnen. Byte av bränsle för transporter, grävning, lastare m.m. till t.ex. bioetanol har ej beaktats då dessa processer ligger utanför de direkta tillverkningsprocesserna och implementering av alternativa bränslen kräver en systemanalys av typen LCA för att inkludera t.ex. tillverkningen av det alternativa bränslet.



Figur 34 Ungefärlig fördelning av energibärare för Haga tegelbruk.



Figur 35 CO₂-emissionen från en svensk tegeltillverkare åren 1998-2004.

Tunnelugnen med tillhörande torkanläggning och avsvalningsanläggning står för den helt dominerande delen av energiförbrukningen. Det är således här som reduktionspotentialerna för koldioxid kan finnas. Typiska produktionsdata för tunnelugnar finns presenterat i tabell 16 (normaltegel) och tabell 17 (lining tegel). En genomgång av olika förbättringsmöjligheter finns presenterad i EU:s BAT-dokument²⁶ för den keramiska industrin. Listan över tänkbara åtgärder finns återgiven i bilaga 2. Vilka åtgärder som är tillämpliga för den svenska produktionen beror på den tekniska statusen på befintlig produktion. Det bör dock kommenteras att nyinstallation av tunnelugn är en stor investering för ett tegelbruk och ingen enkel reduktionsåtgärd. Här måste övervägas om det finns ekonomisk bärkraft för en dylik investering och investeringen måste göras vid ett tekniskt rätt tillfälle och ej endast som reduktionsåtgärd för CO₂. Ett ekonomiskt räkneexempel finns för en sådan åtgärd i nästa kapitel. Beträffande ytterligare isolering av tunnelugnar bör påpekas att en tunnelugn behöver yttre kylning för att fungera bra. En för långt driven isolering av ugnen kan leda till överhettning och skador på ugnen.

²⁶ Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on, Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry, Draft June 2005, EUROPEAN COMMISSION.

Tabell 16 Typiska processdata för tunnelugnar²⁶.

| Tunnelugnar | Enhet | Klinker | Tegel | Horisontellt perforerade tegel | Taktegel |
|---|---------------------|------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| Produktion | ton/tim | 1-8 | 3-15 | 3-15 | 3-6 |
| Ugnslängd | m | 80-125 | 60-120 | 60-120 | 80-140 |
| Tvärsnittsarea – ugn | m ² | 1,3-6,0 | 4-12 | 4-12 | 4-10 |
| Sättningsdensitet | kg/m ³ | 650-1500 | 350-500 | 250-750 | 200-400 |
| Bränningsstemperatur | °C | 1000-1300 | 900-1050 | 950-1050 | 1000-1150 |
| Specifik energianvändning (torkning+bränning) | kJ/kg | 1600-3000 | 1000-2500 | 1000-2500 | 1600-3500 |
| Avgasvolym | m ³ /tim | 5000-20000 | 10000-50000 | 10000-50000 | 10000-40000 |
| Avgastemperatur | °C | 140-200 | 100-150 | 100-150 | 130-180 |

Tabell 17 Typiska processdata vid produktion av eldfast liningtegel (refractory industry) för tunnelugnar²⁶.

| Tunnelugnar | Enhet | Magnesium tegel | Bränt lertegel | Bauxit tegel | Kisel tegel |
|---|---------------------|-----------------|----------------|--------------|-------------|
| Produktion | ton/tim | 2-8 | 4 | 4 | 2,1 |
| Ugnslängd | m | 150 | 113 | 116 | 180 |
| Tvärsnittsarea – ugn | m ² | 1,3-3 | 2,4 | 2,2 | 2,8 |
| Sättningsdensitet | kg/m ³ | 1000-2500 | 600-1500 | 600-1300 | 700-1000 |
| Bränningsstemperatur | °C | 1760-1850 | 1260 | 1400 | 1450 |
| Specifik energianvändning (torkning+bränning) | kJ/kg | 6000-9700 | 3200 | 4500 | 9050 |
| Avgasvolym | m ³ /tim | 15000-25000 | 10000-15000 | 10000-15000 | 1200 |
| Avgastemperatur | °C | 250-400 | 150-200 | 150-220 | 120 |

Idag används gasol (propan, C₃H₈) och naturgas (CH₄) till de svenska ugnarna. Jämförs de rena ämnena propan och metan som bränsle med avseende på koldioxidemissionen ger propan en något högre emission (metan: 55 g CO₂/MJ tillfört bränsle, propan: 64,8 g CO₂/MJ tillfört bränsle²⁷). Avgörande för användningen av naturgas i Sverige är dock inte koldioxidemissionen utan tillgången på naturgas. Det bruk i Sverige som är beläget där naturgas finns framdraget använder redan naturgas. De två övriga är belägna i Enköping respektive Vittinge utan tillgång till naturgas.

Även eldningsolja används i vissa ugnar utomlands och användes även tidigare i Sverige. Då förbränningen av bränslet sker i direkt kontakt med teglet är det en fördel om bränslet är rent och inte förorenar teglet. Detta är en avgörande teknisk fördel för gaseldning då eldningsolja har en tendens att sota. Någon teknik för biobränsleeldning av tunnelugnar finns inte idag även om ved användes som bränsle förr i världen. Detta var dock primitiva ugnar med hög energiförbrukning och dålig kvalitetskontroll. Förädlade biobränslen typ bioetanol och RME (rapsmetylester) skulle dock rent tekniskt vara möjliga att använda. Här måste dock ett systemperspektiv läggas och tillverkningen och alternativ användning av dessa bränslen måste analyseras. Dessa bränslen har också en begränsad tillgång varför användningen idag inte bedöms realistisk för tegelindustrin. Elanvändning för uppvärmning av tunnelugnar har också övervägts. Någon teknik för detta finns inte idag och här måste också produktionen av elenergin beaktas. Om denna sker med fossila bränslen kommer detta att leda till en ökning av koldioxidemissionen. Då basproduktionen av elkraft i Sverige, bestående av vattenkraft och kärnkraft, redan är in-tecknad kommer marginalproduktionen troligen att ske med kolkraft även om import av vattenkraft från Norge och import av kärnkraftgenererad el också kan förekomma.

²⁷ Räknat som effektivt värmevärde.

De åtgärder som återstår för att minska koldioxidemissionen är främst energiförbättrande åtgärder på befintliga ugnar eller eventuellt utbyte av befintlig tunnelugn till en helt ny anläggning med ytterligare sänkt energiförbrukning. Två scenarior har tagits fram för att visa reduktionspotentialen av koldioxid och kostnaden för dessa åtgärder.

9.3 Ekonomiska analyser av reduktionsmöjligheter för koldioxid

Nyinstallation av tunnelugn

Detta alternativ har egentligen undersöks för perioden fram till år 2020 men som dock är teoretiskt möjlig till 2010 inkluderas den i 2010.

Det är inte ofta som nyinstallationer av tunnelugnar sker i Norden. År 1999 gjordes dock en nyinstallation av en tunnelugn i Finland. Vid denna installation garanterade leverantören en specifik energiförbrukning om 1,8 MJ/kg bränt tegel vilket också uppnåddes. År 2004 var den specifika energiförbrukningen 2,92 MJ/kg bränt tegel vid Haga tegelbruk. Denna åtgärd skulle således ge en energibesparing på 1,12 MJ/kg bränt tegel. Med Gasol (propan 95) som bränsle skulle detta ge en reduktion av CO₂ med $1,12 \cdot 64,8 = 72,6$ g CO₂/kg bränt tegel, eller totalt 1498 ton. En installation av en ny tunnelugn är en investering på ca 100 miljoner SEK, och kostnaden för att reducera ett ton CO₂ uppskattas till 3326 kr/ton (6 % ränta) respektive 7130 kr/ton (12 % ränta).

10 Keramikindustrin

10.1 Processer och anläggningar - klinkerplattor

I Sverige finns en betydande tillverkare av klinkerplattor - CC Höganäs. Klinkerplattor tillverkas i princip genom att lera formas, torkas, glaseras och bränns. En översiktlig figur över tillverkningsprocessen visas i figur 36.

Tillverkningen startar med att flera olika typer av leror (från produktionsorten samt Tyskland och England) blandas med Chamotte (bränd lera, plattskrot eller aska), pegmatitiskt fältspat och färgande oxider (järnoxid, manganoxid m.fl.). Lerorna ger god formbarhet och omvandlas under brännprocessen till hårda mineral. Lerorna utgör normalt 60-80 % av det keramiska godset. I massaberedningen blandas leror med tillsatsmaterial. Massasammansättningen kan vara enligt följande:

- Lera 60 – 100 %
- Chamotte i två fraktioner 0 – 30 %
- Fältspat 0 – 15 %
- Färgande oxider 0 – 3 %

Massan vägs upp och blandas först torrt, sedan vått i 5 - 10 min. Vatteninnehållet i massan är 15 %. Massan går sedan vidare till formning av plattor. Plattor kan formas genom extrudering, genom stansning eller genom torrprensning.

Extrudering

- Plattorna pressas två och två med baksidorna mot varandra, dels för att bli plana, dels för att kunna staplas på ugnsvagnarna. De klyvs först efter bränningen. Bommarna som håller ihop plattorna under tillverkningen återanvänds som chamotteskrot.
- Varje press har en kapacitet av ca 20 - 25 ton massa per dag, vilket motsvarar 17 000 – 30 000 plattor/dag. Strängens längd på en arbetsdag motsvarar 1,7–3 km beroende på plattformat.
- Massans fuktighet är 15 % och presstrycket i munstycket är ca 20 - 25 bar. Massan vakuumbehandlas i pressen. Plattan kapas med två pianotrådar med ett exakt avstånd och i en rörelse som samordnas med strängens/skärbordets hastighet.
- Datum och pressens nummer präglas på plattans kant. Sand strös över plattans kant för att undvika att plattorna bränns ihop i ugnen.
- Munstycket är gjort av härdat stål och håller för ca en miljon plattor. Bågtopparna som bildar bommarna är gjorda i hårdmetall, men slits mycket hårt.

Stansade plattor

- Större plattor (30x30 cm) kan inte tillverkas som klyvklinker. Plattorna formas genom stansning ur en horisontellt extruderad massasträng. Trycket i munstycket uppgår till 19 - 21 bar.
- Antal tillverkade plattor per dag är 7 000 - 10 000 st vilket motsvarar 650 - 900 m².
- Plattorna krymper ca 9 % från pressning till bränt skick, vilket motsvarar ca 25 mm i längd och bredd.
- Plattorna torkas horisontellt, liggande på specialvagnar och torkningen tar ca 24 timmar vid en högsta temperatur av 70 °C.
- Vid bränningen placeras plattorna horisontellt i speciella eldfasta kassetter.

Torrpressade plattor

- Plattorna formas genom att ett granulat pressas med högt tryck i en stålform (pressmatris). Granulatet har en fukthalt av 5 – 6 %.
- Granulatet framställs ur extruderade och torkade massabitar som krossas i en kvarn. Ur mjölet siktas granulatet fram.
- Granulatet fyller stålformen som är 157 mm och kvadratisk. Presstrycket är 250 bar (25 MPa). Plattorna pressas två och två.
- En press kan tillverka ca 6 000 plattor/dag, vilket motsvarar 140 m². Årlig produktion är ca 25 000 - 30 000 m².
- Plattornas mått efter bränning är 150x150x20 mm. Toleranserna för torrpressade plattor är lättare att begränsa eftersom plattorna krymper mindre än våtpressade vid tillverkning.

Efter formningen torkas plattorna i en kammartork. Våtpressat gods krymper 4 – 5 % under torkning. Krympningen måste ske likformigt och långsamt, annars spricker godset. Godset torkas efter en viss temperatur/fuktkurva som innebär:

1. Låg temperatur (40 °C) och hög relativ fuktighet (90 – 100 %). Godset värms.
2. Höjd temperatur (50 °C) och sänkt relativ fuktighet. Godset börjar torka och krymper.
3. Höjd temperatur (60 °C) och sänkt relativ fuktighet (10 – 20 %). Godset har slutat krympa och torkar helt.

Varmluften till torkarna tas i första hand från ugnarnas kylluft. Vid behov kompletteras med oljebrännare.

Innan bränning skall plattorna glaseras. Denna process inleds med en glasyrberedning. Glasyrerna är rågodsglasyrer avsedda för engångsbränning vid 1200°. Glasyrerna är sammansatta av nedanstående material:

- Kvarts, krita, lera, fältspat, zirkoniumsilikat, bariumkarbonat m.m.
- Färgpigment i form av metalloxider, t.ex. kobolt, tenn/antimon, zirkon/vanadin, järn, mangan, krom m.fl.
- Klister och ställmedel som reglerar viskositeten.

Råmaterial och färgpigment invägs och mals tillsammans med vatten i gummifodrade kvarnar innehållande kulor av aluminatporslin. Maltiden är ca 9 timmar. Kvarnarna rymmer 30 - 1200 kg torrt material. Glasyren siktas på finmaskig duk efter malning. Fukthalt på färdig glasyr är ca 35 %. Glasyren läggs på den torkade plattan i form av en dimma i glaseringskåpen. Glasyren läggs på i 3 eller 4 skikt på plattan som står på högkant. Glasyrmängden kontrolleras regelbundet och för en Sydneyplatta (12x12 cm) är mängden 8 - 12 gram, beroende på glasrtyyp. I bränt skick är glasyren 0,4 - 0,5 mm tjock. Glasyr som inte hamnar på plattan siktas och återförs till glaseringskåpet. Glaseringsmaskinen klarar ca 39 000 plattor/dag eller drygt 600 m². All avfallsglasyr tas om hand i en sedimenteringsbassäng.

Efter glasering sätts plattorna på brännvagnar för bränning. Plattorna staplas på högkant på brännvagnarna för att förbättra cirkulationen i ugnen och för att godset skall bli genombränt. Plattornas kanter sandas för att godset inte skall bränna samman i ugnen. Varje arbetsdag (måndag - fredag) sätts och töms 56 - 70 brännvagnar.

Vagnarna rymmer nedanstående antal plattor resp. kvadratmeter:

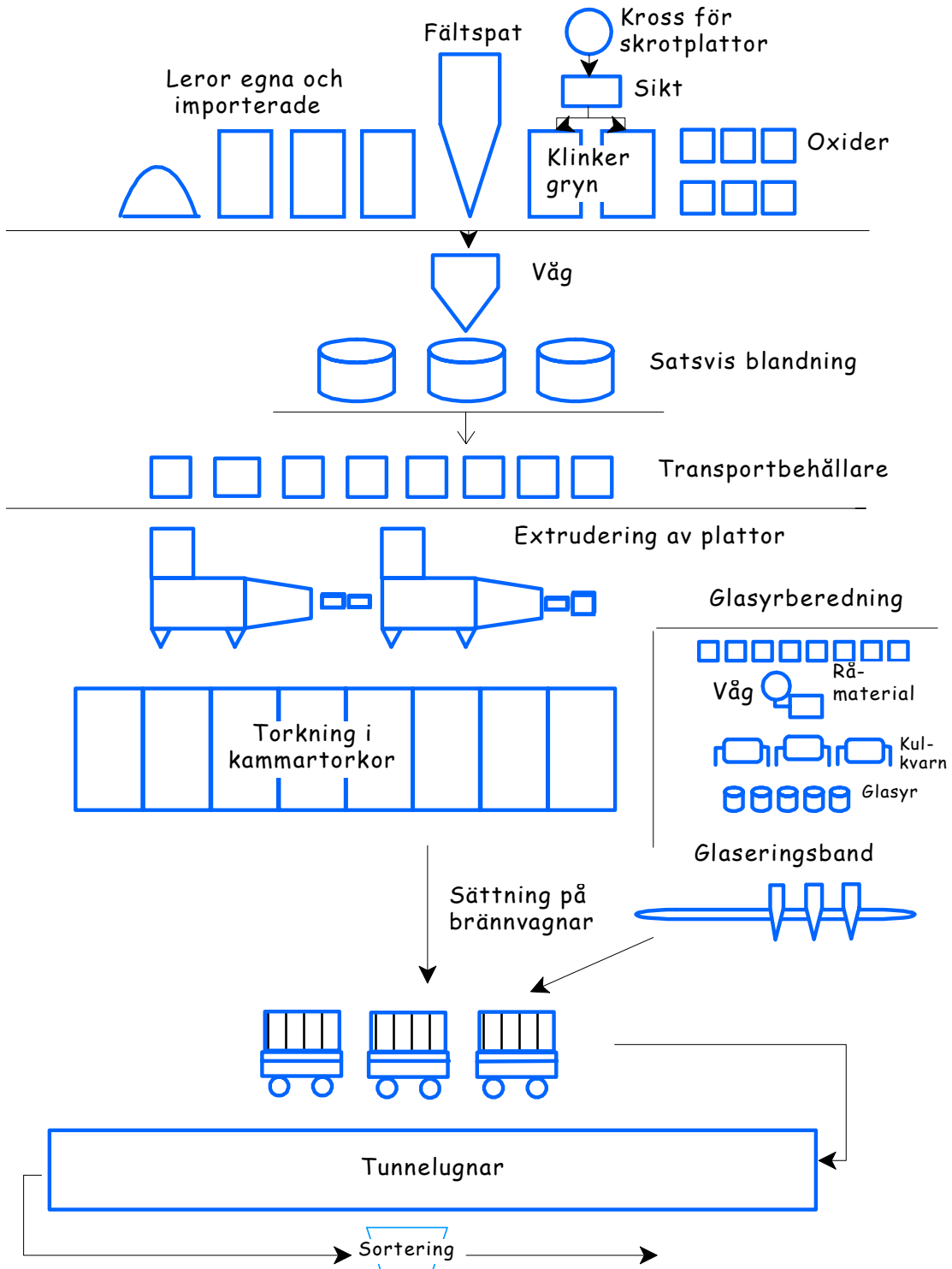
| | | |
|-----------------------|---------|-------------------|
| Plattor 10x20 cm | 2200 st | 44 m ² |
| Plattor 20x20 cm | 792 st | 32 m ² |
| torrpressade 15x15 cm | 1292 st | 31 m ² |
| Stansade 30x30 cm | 208 st | 19 m ² |
| Glaserade 12x12 cm | 2160 st | 34 m ² |

Bränningen av plattorna sker i tunnelugnar. Ugnarna är byggda av tyska Kerabedarf och är båda från 1940-talet. De har senare modifierats och moderniserats. Ugnarna är 127 m långa och rymmer 84 vagnar, vilka sakta skjuts genom ugnen. Den varmaste delen av ugnen är belägen ca 50 vagnslängder från inloppsändan. Här är temperaturen upp till 1200°. Bränningsförloppet går ganska långsamt och det tar 3 - 4 dygn för vagnarna att gå genom ugnen. Ugnarna värms med gasol och rökgaserna från förbränningen dras till inloppsändan och värmer på så sätt långsamt upp godset. Efter högbranden kyls godset ner till ca 100° i kylzonen. Värmen från ugnarnas kylzon används till att torka godset efter formningen. Ugnarnas stängs bara av en gång per år. Vid semesteruppehållet utförs underhållsarbeten. Det tar ca 2 veckor att få ugnen sval och en vecka att få upp den till rätt temperatur igen. En schematisk bild av tunnelugnen visas i figur 37.

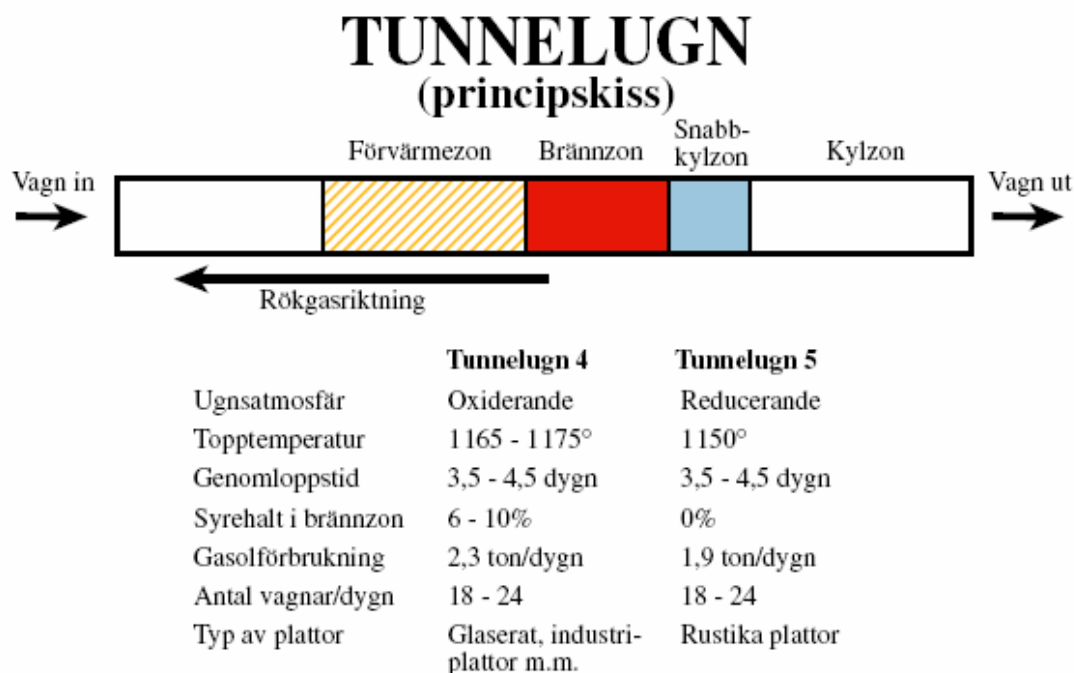
Efter bränning och avkylning klyvs de dubbla klinkerplattorna och plattorna avsynas och sorteras. Utsorterade skrotplattor återförs till produktionen som chamotte efter malning.

Tillverkning av extruderade klinkerplattor

cho/1997-08



Figur 36 Översiktsbild visande tillverkning av klinkerplattor.



Figur 37 Principskiss över tunnelugnen för klinkerplattor.

10.2 Tekniska reduktionsmöjligheter för koldioxid

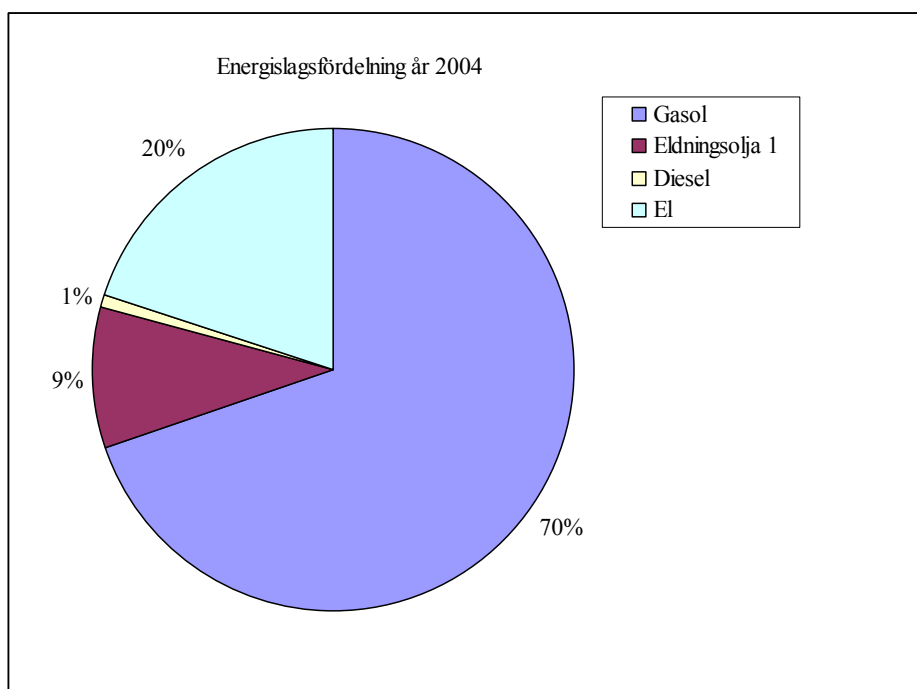
Merparten av energiförbrukningen vid tillverkningen av klinkerplattor sker, liksom vid tegelproduktionen, vid bränningen och torkningen av plattorna. Produktionen är relativt energiintensiv. En översikt över energianvändningen vid tillverkningen i olika länder finns återgiven i EU:s BAT-dokument, tabell 18.

Tabell 18 Energianvändningen vid tillverkning av golv och väggkeramik i några EU länder i GJ/ton produkt²⁸.

| Land | 1980 (GJ/ton) | 1990 (GJ/ton) | 1997 (GJ/ton) | 2001 (GJ/ton) |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| DE | | | | 7,58 |
| EL | 11,61 | 8,68 | 8,1 | |
| ES | 15,78 | 7,00 | 5,49 | 5,78 |
| FR | 6,97 | 5,84 | 5,71 | 6,42 |
| IT | 11,22 | 6,19 | 5,12 | 5,48 |
| NL | 10,94 | 8,46 | 8,76 | |
| PT | | | 3,33 | 3,03 (år 2000) |
| UK | 18,05 | 13,15 | 11,33 | |

Energitillförseln för den svenska tillverkningen baseras huvudsakligen på gasol, figur 38.

²⁸ Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on, Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry, Draft June 2005, EUROPEAN COMMISSION.



Figur 38 Energislagsfördelning år 2004 för Höganäs produktion.

Energikostnaderna är även för denna produktion en betydande post och energieffektiviseringsarbete har pågått kontinuerligt under många år. Det finns således endast några få åtgärder för att minska energianvändningen och därmed CO₂-emissionen.

1. Ytterligare trimning och energieffektiviseringar på tunnelugnen och torkprocessen. Endast marginella reduktioner kan här förväntas.
2. Byte till bränslesnålare brännare i ugnarna. På Höganäs finns numera två tunnelugnar i drift, benämnda ugn 4 och 5. Produktionskapacitet och tillstånd är 700 000 m²/år. Genom att ändra hastigheten genom ugn kan producerad mängd ändras inom ett visst intervall annars sker ändringar i produktionsvolym i relativt stora steg när en ugn läggs i malpåse respektive tas i bruk. Ugn 5 har 54 brännare. År 1988 byttes brännarna i förvärmningszonen. De nya brännarna är av modern typ som ger en spridd låga med snabb förbränning med hög temperatur och verkningsgrad. Brännarna i brännzonen (28 st) är av lanstyp från 1940-talet. Genom att byta till moderna venturibrännare med tallriksformad låga som ger snabb effektiv förbränning skulle gasolförbrukningen kunna minskas. Produktionsledningen har bedömt osäkerheten beträffande risk för kvalitetsförsämring av plattorna och effekterna på ugn och kostnadsbesparing så osäkra att någon åtgärd ej vidtagits.
3. Övergång från gasol till naturgas kan ge en 10-15 % reduktion av CO₂-emissionen på fabriken. Ur ett globalt perspektiv löser dock inte en sådan övergång CO₂-problematiken. Gasolen måste ju ändå eldas upp någonstans så detta innebär endast att CO₂-emission flyttas någon annanstans. Ingen (företag eller gasleverantör) är f.n. beredd att bekosta en naturgasledning till fabriken.
4. Installation av helt ny tunnelugn och tork. Bedöms inte som en ekonomiskt möjlig åtgärd då billigare produktionskapacitet finns i andra länder speciellt runt medelhavet. Produktionen kommer då i stället att flyttas till andra fabriker. Byte till energisnålare rullugn vilket används i

medelhavsländerna har utretts och avskrivits som möjlig åtgärd. Detta förklaras närmare nedan i texten.

5. Framtida scenarier för minskning av utsläpp av fossil CO₂ är minskning av produktionen i Sverige och ökning av produktion i medelhavsländerna där energisnålare tillverkning finns.

Den svenska produktionen har en högre energiförbrukning än många europeiska konkurrenter. Detta beror bland annat på lerans sammansättning och de kvaliteter som tillverkas i Sverige. Tjockleken på plattor som tillverkas i Sverige är 12, 15, 19 och 20 mm. Försök har gjorts med produktion av tunnare plattor men detta leder till en alltför stor kassation eftersom plattorna bränns stående på högkant. Trots en bombredd på 15 och 25 mm står plattan för osäkert. Plattor med högt järninnehåll deformeras dessutom under bränning om de är tunnare.

Byte till rullugn skulle medföra att plattjockleken kunde sänkas till 10 mm vilket ger möjlighet till snabbare bränning och lägre energiförbrukning. Eftersom hållfastheten är proportionell mot kvadraten på tjockleken måste detta också vägas in. För Höganäs industriplattor är det inte alls aktuellt. De inhemska lerorna innehåller ca 1 % kol vilket måste förbrännas långsamt så att bildad CO kan lämna godset utan att skada detsamma. Detta medför att de korta snabba bränningar som görs i rullugnar inte lämpar sig för våra leror. Ju tunnare plattorna är desto snabbare kan de brännas, men försök i Italien på rullugnar har visat att det inte är möjligt att bränna de svenska torrpressade plattorna på detta sätt.

Produktionsscenario för 2010

Produktionen sker i en tunnelugn, ca 200 000 m² per år. Resterande kvantitet 2 500 000 m² importerar från produktionsenheter i medelhavsländerna.

Produktionsscenario för 2020

Tillverkningen nerlagd i Sverige. Höganäs är ett rent försäljningsbolag för koncernens produkter i Sverige.

10.3 Ekonomiska analyser av reduktionsmöjligheter för koldioxid

Ny tunnelugn

Trots de negativa prognoserna har kostnaderna för en ny tunnelugn beräknats samt dess potential på koldioxidreduktionen. En ny tunnelugn beräknas reducera utsläppen med 960 ton till en kostnad av 1737 kr/ton (6 % ränta) respektive 4111 kr/ton (12 % ränta).

11 CO₂-reduktion genom avskiljning och lagring

Många olika utredningar har gjorts de senaste åren för att utreda möjligheterna att reducera CO₂-emissionen till atmosfären genom avskiljning av CO₂ ur rökgaser med efterföljande lagring av CO₂. En kort presentation av olika avskiljningstekniker för CO₂ presenteras i tabell 19. Lagring av CO₂ kan ske på olika sätt som t.ex.

Deponi i akvifärer
Deponi i kolformationer
Lagring i tömda oljekällor

Havsdeponi

Deponi genom mineralkarbonatisering

Denna teknik att reducera CO₂-emissionen är relativt ny och under utveckling även om forskning och försöksverksamhet har pågått under flera år. Någon erfarenhet från fullskaleapplikation av dessa processer finns inte så kostnadsuppskattningarna får betraktas som osäkra. Beräkningar som gjorts visar på avskiljningskostnader runt 30-50 US \$/ton avskilt CO₂ för stora elkraftverk²⁹. Detta skulle då också medföra att energieffektiviteten på anläggningarna reducerades med i storleksordningen 8-13 %. Anläggningar i drift i USA rapporterar dock en kostnadsnivå för avskiljning på 100 US \$/ton CO₂ för kraftgenerering och 35-100 US \$/ton CO₂ vid andra industriella applikationer. Kostnaderna för transporter av CO₂ till lagringsplatserna har också uppskattats. Beräkningarna visar på en kostnadsnivå runt 1-3 US \$/ton CO₂³⁰.

Specifika förhållanden för mineralindustrin är att man där ofta har en hög halt av CO₂ i rökgaserna då CO₂ genereras både från bränsleförbränningen och från det processade materialen. Halten CO₂ i rökgaserna kan för vissa anläggningar gå upp mot 30 %. Tillämpningar av CO₂-avskiljningstekniker torde för mineralindustrin främst vara aktuell vid cementproduktion och vid anläggningar för kalkbränning där stora mängder CO₂ avdrivs från materialen. Beräkningar av kostnaderna för CO₂-avskiljning i cementindustrin har gjorts och visar på kostnader i storleksordningen 50-250 US \$/ton CO₂³¹.

Tabell 19 Översikt över olika tekniker att avskilja CO₂.

| Teknik | Kort beskrivning |
|------------------------|---|
| Absorptionsteknik | Skrubbing av CO ₂ -haltig gas med någon amine, ofta monoetanolamine, MEA, med efterföljande tryck/temperaturstyrd CO ₂ -avdrivning. |
| Membran teknik | Använder gasers olikheter i fysikaliska eller kemiska egenskaper för att med membran avskilja CO ₂ . |
| Adsorptionsteknik | Användning av fasta materials egenskaper att separera ut CO ₂ ur en gasström. De fasta materialen kan vara t.ex. zeoliter eller aktivt kol. |
| Kryotekniska lösningar | Avskiljning genom kylning och kondensering. Används vanligen för gasströmmar med hög halt av CO ₂ (> 90 %). |
| Biotekniska lösningar | Nytt forskningsområde där man med hjälp av t.ex. enzymer eller andra biologiska processer skall kunna avskilja CO ₂ . |

12 Kostnadstrappor

I slutet av varje kapitel för respektive industri har kostnaderna och potentialer, för de åtgärder där data finns, uppskattats. Alla åtgärders potential utgår från 2005 års produktion och kostnaderna är i 2004 samt 2005 års priser, vilka inte skiljer sig så mycket åt på grund av den låga inflationen. En del av åtgärderna har inte till syfte att reducera CO₂ utan det blir en positiv bieffekt och därför kan kostnaderna ibland bli väldigt höga. I de allra flesta fall påverkar inte åtgärderna varandra och i de fall de har en viss påverkan har detta ignorerats då det endast anses påverka resultaten marginellt.

Det som har en stor påverkan på resultaten är val av livslängd på investeringen samt bränslepriserna. Livslängden varierar i de undersökta åtgärderna mellan 10-50 år, men i de flesta fall har 20 år uppskattats vara åtgärdens tekniska livslängd. När det gäller kostnad för olika bränslen har de priser använts som Elforsk uppskattat i sitt projekt och som bygger på priserna 2003/2004. Bränslepriserna förändras ständigt och har stigit mycket de senaste åren, men för jämförbarhetens skull används dessa i beräkningarna. I ett fåtal fall har dock företagen gjort egna beräkningar av

²⁹ IEA International Energy Agency, CO₂ Capture at Power Stations and Other Major Point Sources (2003).

³⁰ IEA International Energy Agency, CO₂ Capture and Storage in Geological Formations (2003).

³¹ IEA International Energy Agency, PH3/7, (1999).

förändrade driftskostnader utan att vilja avslöja sina bränslepriser. Det är dock viktigt att poängtera att bränslepriserna har stor inverkan på de uppskattade kostnaderna för att reducera CO₂ och också för företagens val att byta till andra bränslen.

Reduktionspotentialen för de olika åtgärderna har summerats i grupper efter deras uppskattade kostnader per ton reducerad CO₂. Då endast åtgärder för 2010 varit möjliga att uppskatta är alla tabeller baserade på detta år. Dock utgår den uppskattade reduktionspotentialen, som tidigare nämnts, från produktionen 2005 samt de tilldelade utsläppsrätterna för detta år. Det är både möjligt och troligt att vissa företag önskar expandera (medan vissa uppskattar att produktionen kommer att minska) men då det varit svårt att få in bra uppskattningar på detta utgår vi i grundberäkningarna från år 2005. Vissa CO₂-effektiviseringsåtgärder kan också förutsätta en ökad produktion vilken kan påverka den totala reduktionsmöjligheten. Dessa aspekter har behandlats i kapitlen om tekniska reduktionsmöjligheter. De ekonomiska analyserna har dock utgått från 2005 års produktionsnivå.

I tabell 20 redovisas reduktionspotentialen vid olika kostnadsnivåer och vid användandet av de två räntenivåerna 6 % respektive 12 %. Vid 6 % ränta bli de åtgärder som kräver en investering något billigare och större reduktion kan genomföras till en lägre kostnad.

Tabell 20 Möjlig reduktionspotential vid olika accepterade kostnadsnivåer vid 6 % respektive 12 % ränta år 2010. Antag 2005 års produktion.

| Genomsnittskostnad (kr/ton) | Reduktionspotential (ton) 6 % ränta | Reduktionspotential (ton) 12 % ränta |
|-----------------------------|--|---|
| < 100 kr/ton | 43 559 | 24 739 |
| 100-200 kr/ton | 25 000 | 38 100 |
| 200-400 kr/ton | 55 278 | 11 998 |
| > 400 kr/ton | 31 837 | 80 837 |

I tabell 21 och tabell 22 redovisas den absoluta utsläppsnivån vid olika kostnadsnivåer samt den maximala reduktionsnivån då alla beaktade åtgärder genomförts oavsett kostnad (> 400 kr/ton). Den procentuella minskningen utgår från tilldelningsnivån på 3 491 000 ton 2005, vilket betyder att CO₂-utsläppen kan reduceras med maximalt 4,5 % fram till år 2010, vid en oförändrad produktion.

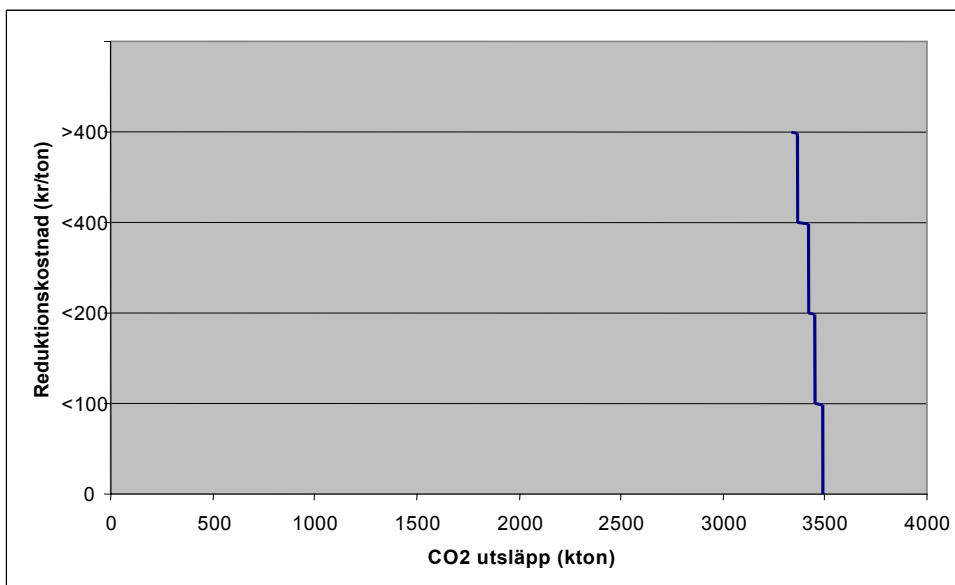
Tabell 21 Absoluta utsläppsnivåer av CO₂ vid olika kostnadsnivåer vid 6 % ränta, år 2010.

| Genomsnittskostnad (kr/ton) | Reduktionspotential (ton) | Reduktionspotential (%) | Absolut utsläppsnivå (ton) |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| < 100 kr/ton | 43 559 | 1,3 | 3 447 441 |
| < 200 kr/ton | 68 559 | 2,0 | 3 422 441 |
| < 400 kr/ton | 123 837 | 3,6 | 3 367 163 |
| > 400 kr/ton | 155 674 | 4,5 | 3 335 326 |

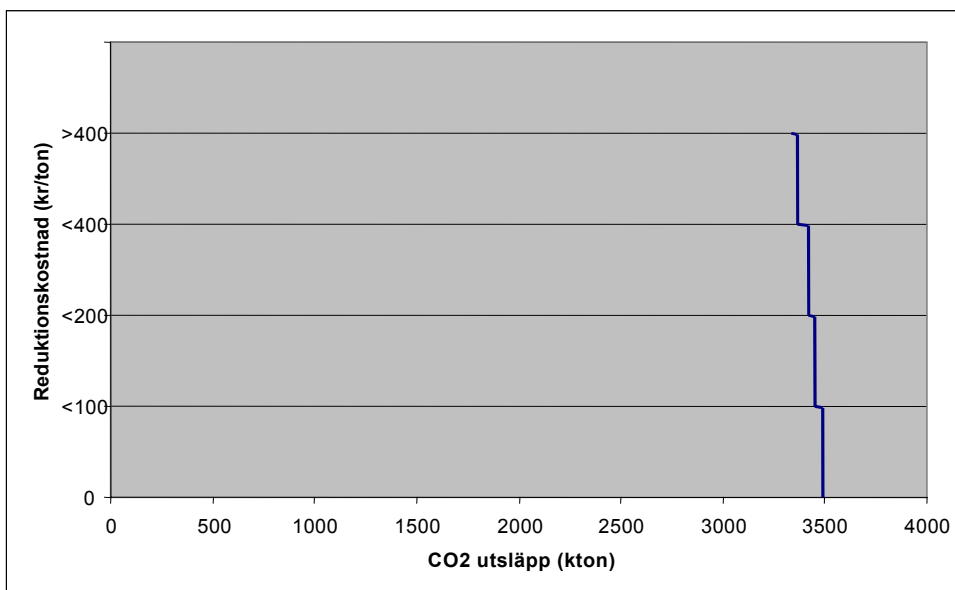
Tabell 22 Absoluta utsläppsnivåer av CO₂ vid olika kostnadsnivåer vid 12 % ränta, år 2010.

| Genomsnittskostnad (kr/ton) | Reduktionspotential (ton) | Reduktionspotential (%) | Absolut utsläppsnivå (ton) |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| < 100 kr/ton | 24 739 | 0,7 | 3 466 261 |
| < 200 kr/ton | 62 839 | 1,8 | 3 428 161 |
| < 400 kr/ton | 74 837 | 2,1 | 3 416 163 |
| > 400 kr/ton | 155 674 | 4,5 | 3 335 326 |

I **Error! Reference source not found.** och figur 40 redovisas resultaten i en så kallad kostnadstrappa. Varje steg visar hur stor reduktion som kan förväntas om alla åtgärder inom ett visst kostnadsspänn genomförs. Då den uppskattade reduktionspotentialen år 2010 endast är 4,5%, blir varje trappsteg väldigt kort.



Figur 39 Kostnadstrappa vid 6 % ränta 2010.



Figur 40 Kostnadstrappa vid 12 % ränta 2010.

I ovanstående resonemang har produktionen för år 2005 varit utgångsläget. Vid ett antagande att alla företagen i genomsnitt ökar sin produktion och koldioxidutsläpp med 10 % till 2010 skulle utsläppen bli 3 840 100 ton (om tilldelningen av utsläppsrätter används som bas). Med en reduktion av 155 674 ton skulle det i praktiken betyda en ökning av CO₂ med 193 326 ton, under förutsättning att reduktionspotentialen inte nämnvärt påverkas av ökad produktion.

I beräkningarna ovan har vi utgått från att endast de medverkande företagen reducerar sina utsläpp. Dessa företag har tilldelats ca 72 % av utsläppsrättigheterna 2005, om kalkindustrin exkluderas (inkluderas kalkindustrin står de medverkande företagen för 82 %). Det betyder att om de övriga företagen har samma reduktionspotential som de medverkande företagen kan en reduktion på ca 217 000 ton erhållas, vilket motsvarar ungefär 6 %.

13 Diskussion

Genomgången av olika reduktionsmöjligheter för koldioxidemissionen från de olika tillverkningsindustrierna inom mineralindustrigruppen har visat på vikten av att noga analysera möjligheter och konsekvenser av olika ekonomiska styrmedel. Ekonomiska styrmedel kan vara kraftfulla verktyg för att påverka en teknisk och ekonomisk utveckling men de kan också ha negativ verkan med förödande effekt som nedläggning av fungerande industrier med goda miljöprestanda. Ekonomiska styrmedel är i själva verket inget nytt. Lön till anställda eller skatter är alla välkända ekonomiska styrmedel som använts länge. Nya typer av mera avancerade styrmedel är ofta komplexa, vilket gör att det kan vara svårt att genomskåda effekterna av dessa styrmedel. Det är därför viktigt att noga analysera konsekvenserna av nya styrmedel innan allvarliga och irreparabla skador inträffar.

Denna studie har visat på många viktiga aspekter som måste beaktas. De produktionshämmande aspekterna i förhållande till tillverkningens CO₂-effektivitet är en svårighet. En annan viktig fråga är hur man hanterar den internationella konkurrensen och problemen med olikheterna i tilldelning mellan konkurrerande företag. Denna studie har med all tydlighet visat på att handeln med utsläppsrätter kan ha en stark inverkan på industrin och med nuvarande priser på utsläppsrätter kommer produktionen och konkurrenssituationen i de olika företagen att påverkas.

Flera olika frågeställningar har också accentuerats. Systemaspekternas betydelse för en industris bidrag till växthuseffekten har tydligt visats. För mineralull är situationen den att ju mera man tillverkar desto mindre blir CO₂-emissionen i samhället p.g.a. att produkten används som isolering. Produktionens bidrag spelar här en mindre roll. CO₂ som styrmedel för produktionen är också en aspekt som belysts. Ett ensidigt fokus på CO₂-emissionen kan leda till missriktade åtgärder inom industrin. Övergången från gasol till naturgas kan vara ett exempel. För det enskilda företaget kan en investering i en dyr naturgasinstallation leda till sänkta CO₂-emissioner medan för samhället i sin helhet innebär bytet enbart att gasolen förbränns någon annanstans, eventuellt utanför handelssystemet.

I stället för att CO₂-emissionen ensidigt skall styra produktionsplaneringen kanske det vore bättre att elda vissa bränslen i vissa pannor som är speciellt lämpade för dessa bränslen utan att snegla för mycket på CO₂-emissionen. Idag finns en tendens att högvärdiga och CO₂-effektiva bränslen eldas i stora förbränningsanläggningar när, i stället, dessa anläggningar skulle fokuseras på svåreldade och tyngre bränslen och spara de högvärdiga bränslena till mindre anläggningar som har svårare att ta hand om mera förorenande bränslen. Ett annat exempel är när strålningsenergin i flamman används i processen (glödande partiklar som avger strålning i flamman). I dessa fall bör ett bränsle som avger strålning användas i första hand då mindre strålände bränslen som naturgas leder till högre energiförbrukning. Dessa bör avsättas för tillämpningar där denna effekt inte används oberoende av CO₂-emissionen.

En annan viktig aspekt är att CO₂-frågan inte får ha en stark negativ inverkan på produkternas kvalitet. Det är t.ex. viktigt att bibehålla en hög kvalitet på cementen. Att göra avkall på kvalitén i jakten på några få kilo CO₂ kan få förödande konsekvenser för samhället i ett senare skede och förorsaka mycket större CO₂-utsläpp i framtiden.

Erfarenheterna från de ekonomiska beräkningarna visar på stora variationer i kostnader för CO₂-reduktioner samt att bränslepriset har en avgörande effekt på investeringen.

Bilaga 1. Advantages and disadvantages - Long rotary kiln

Advantages

Use of the fine fractions of limestone.
Optimisations of the lifetime of the quarry. Save of natural resources.
Limestone with high shatter test values can be produced.
Limestone with high decrepitating test values can be processed.
Flexible use of different fuels. Waste fuels and high sulphur fuels.
Quality
A high strength product permitting material handling without creating fines.
All grades can be produced High t 60 Low T60.
Flexibility, soft burned - hard burnt lime
Low residual CO₂ content.
Low sulphur quality.
Not washed products can be used overall.

Disadvantages

High energy consumption.
More dust compared - shaft kilns.
High investment cost.
Slightly higher maintenance cost (refractory mechanics).
Radiation and convection losses are higher .

Advantages and disadvantages - Rotary kilns with preheater .

Advantages

Low energy consumption compare - rotary kilns.
Low sulphur coarse products can be produced but gives extra costs.
Waste fuels can be used under controlled burning conditions.
A more reactive lime will automatically be produced but can be processed also to the same quality as with long rotary kilns

Disadvantages

A slightly courser fraction compared with rotary kiln must be used. (Finer than shaft kilns).
A separate process is needed to produce low sulphur lumpy material.
Fines with high sulphur.
High investment costs.
Limestone with the same high shatter tests and decrepitating tests as for the long rotary can not be processed.

Bilaga 2 (från preliminärt EU BAT dokument³²)

Reduction of energy consumption (energy efficiency).

Improved design of kilns and dryers.

Description and achieved environmental benefits. Here several different measures are presented, which can be applied to kiln/dryer systems individually or in combination:

- better sealing of kilns, e.g. metal casing and sand or water seals for tunnel kilns and intermittent kilns, leads to reduced heat losses
- improved thermal insulation of kilns, e.g. by use of insulating refractory linings or ceramic fibres (mineral wool) leads to reduced heat losses
- improved refractory kiln linings and kiln-car decks reduce cooling downtime and hence associated heat losses ('exit losses')
- the use of high velocity burners improves combustion efficiency and heat transfer
- replacing old kilns with new, in size and width increased tunnel kilns or -if possible in the manufacturing process -fast firing kilns (for instance roller hearth kilns), leads to reduced energy consumption
- interactive computer control of kiln firing regimes leads to reduced energy consumption and also to a decrease of air pollutant emissions
- reduced use of firing auxiliaries and/or use of firing auxiliaries made of SiC/super alloys causes less energy input for heating the kiln system; SiC firing auxiliaries can also be applied in fast firing roller technology kilns
- optimisation (minimisation) of the passage between dryer and kiln and also using the preheating zone of the kiln for finishing the drying process -if possible in the manufacturing process -avoids unnecessary cooling of the dried ware before the firing process
- reducing the amount of cooling air to the rotary kiln together with rebuilding coolers or similar adjustments in the manufacture of expanded clay aggregates can reduce the energy consumption by up to 10 per cent.

³² Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on, Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry, Draft June 2005, EUROPEAN COMMISSION.