

Miljøprojekt Nr. 499 2000

# Renere teknologi i tegl- og mørtelbranchen

Hovedrapport

DTI.Byggeri. Murværkscentret  
DEMEX Rådgivende Ingeniører A/S  
Kalk- og Teglværksforeningen af 1893

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

# Indhold

<b>Forord</b>	<b>7</b>
<b>Livscyklusvurdering - basis for renere teknologi</b>	<b>9</b>
<b>Life cycle assesment - basis for cleaner technology</b>	<b>13</b>
<b>1 Indledning</b>	<b>19</b>
1.1 Målsætning for projektet	19
1.2 Baggrund for projektet	19
1.3 Gennemførelse	19
1.4 Afgrænsning af projektet	20
1.5 Rapportering	21
<b>2 Grundlag og forudsætninger</b>	<b>23</b>
<b>3 Livscyklusvurdering</b>	<b>25</b>
3.1 Målsætning	25
3.2 Metodisk grundlag for LCA	25
3.3 Afgrænsning	25
3.3.1 <i>Fastlæggelse af livsforløb</i>	25
3.3.2 <i>Datagrundlag</i>	27
3.3.3 <i>Dataaktualitet</i>	29
3.4 Opgørelse	30
3.4.1 <i>Energiforbrug</i>	31
3.4.2 <i>Materialeforbrug</i>	34
3.4.3 <i>Emissioner til luft</i>	38
3.4.4 <i>Emissioner til vand</i>	42
3.4.5 <i>Affald</i>	43
3.4.6 <i>Arbejds miljø</i>	45
<b>4 Forslag til handlingsplaner</b>	<b>48</b>
4.1 Strukturen i et forslag	48
4.2 Væsentlige miljøpåvirkninger	49
4.2.1 <i>Teglværker</i>	49
4.2.2 <i>Mørtelværker</i>	50
4.2.3 <i>Hele livscyklusforløbet</i>	50
<b>5 Renere teknologi-løsninger på teglværker</b>	<b>52</b>

5.1	Energiforbrug	52
5.1.1	<i>Nedsættelse af vandmængden i strygeleret</i>	53
5.1.1.1	<i>Tilsætningsstoffer</i>	54
5.1.1.2	<i>Opvarmning af strygeler</i>	55
5.1.1.3	<i>Optimering af kornstørrelsesfordeling i strygeler</i>	55
5.1.2	<i>Nedsættelse af det specifikke energiforbrug på tørringsanlæg</i>	56
5.1.2.1	<i>Ændringer af driftsforhold</i>	56
5.1.2.2	<i>Ændringer af eksisterende tørringsanlæg</i>	56
5.1.3	<i>Energiindhold i afkastluft</i>	57
5.1.4	<i>Anvendelse af anden energikilde</i>	58
5.1.4.1	<i>Industriel kraftvarme</i>	58
5.1.4.2	<i>Microbølger</i>	58
5.1.4.3	<i>Airless drying</i>	59
5.1.5	<i>Nedsættelse af det specifikke energiforbrug på ovn</i>	59
5.1.5.1	<i>Ændringer af driftsforhold</i>	59
5.1.5.2	<i>Ændringer af eksisterende ovn</i>	60
5.1.6	<i>Energiindhold i røggas</i>	60
5.1.7	<i>Nedsættelse af brækagen</i>	61
5.2	Ressourceforbrug	61
5.2.1	<i>Nedsættelse af vandforbrug</i>	61
5.3	Emissioner til luft	64
5.3.1	<i>Røggasrensning på tunnelovne</i>	64
5.4	Affald	66
5.4.1	<i>Metoder til opsamling og genanvendelse af slam på teglværker</i>	66
5.4.2	<i>Fremstilling af bagmursten med højt indhold af restprodukter</i>	67
5.4.3	<i>Nedsættelse af brækagen</i>	67
5.5	Arbejdsmiljø	68
5.5.1	<i>Doseringsmetode for manganoxid</i>	68
5.5.2	<i>Doseringsmetode for bariumforbindelser</i>	70
5.6	Referencer og uddybende information	72
<b>6</b>	<b>Renere teknologi-løsninger på mørtelværker</b>	<b>74</b>
<b>7</b>	<b>Kriterier for anvendelse af alternative materialer</b>	<b>75</b>
7.1	Alternative materialer som renere teknologi-løsninger	77
7.2	Procedure for vurdering af alternative materials egnethed til tegl- eller mørtelproduktion	79
7.2.1	<i>Materiallets fysiske form</i>	79
7.2.2	<i>Materiallets kemiske/mineralogiske sammensætning</i>	80
7.2.3	<i>Mængder og leveringssikkerhed</i>	80
7.2.4	<i>Miljø</i>	80
7.2.5	<i>Arbejdsmiljø</i>	81

7.2.6	<i>Sideeffekter</i>	81
7.2.7	<i>Image</i>	81
7.2.8	<i>Lovgivning</i>	81
7.2.9	<i>Økonomi</i>	81
7.2.10	<i>Produktkvalitet</i>	81
7.3	Eksempler på alternative materialer	81
7.3.1	<i>Glas</i>	81
7.3.2	<i>Mineraluld</i>	83
7.3.3	<i>Ler fra anlægsarbejder</i>	84
7.4	Referencer og uddybende information	85
	<b>Bilag 1 Produktionsprincipper for tegl</b>	<b>86</b>
	<b>Bilag 2 Produktionsprincipper for mørtel</b>	<b>90</b>
	<b>Bilag 3 Definitioner og terminologier</b>	<b>92</b>



# Forord

Denne rapport beskriver projektet “Renere Teknologi i Tegl- og Mørtelbranchen”.

## Projektbeskrivelse

Projektet er bevilget af Miljøstyrelsen og gennemføres af Kalk- og Teglværksforeningen af 1893 i samarbejde med DTI-Byggeri, Murværkscentret og DEMEX, Rådgivende Ingeniører A/S.

Projektets formål er at analysere de miljømæssige forhold i alle faser af tegl- og mørtelprodukters livscyklus, og på denne måde danne grundlag for det fortsatte arbejde med indførelse af renere teknologi i branchen.

Det skal bemærkes, at de fremsatte synspunkter ikke nødvendigvis dækkes af Rådet vedrørende Genanvendelse og Mindre Forurenende teknologi eller Miljøstyrelsen.

Når der refereres til “branchen” er det vigtigt, at være opmærksom på, at det overordnet drejer sig om tegl- og mørtelbranchen, men at dette projekt ikke blot fokuserer på produktion af tegl og mørtel. I dette projekt analyseres såvel de primære brancher som de relaterede brancher. I brancher der beskæftiger sig med et bredere arbejdsområde, vil brancheanalysen kun indeholde den del, der vedrører tegl og mørtel.

Projektet omfatter 5 faser.

- I fase I opstilles metoder og foretages detailplanlægning af de følgende faser.
- I fase II opstilles branche- og produktprofiler, og der tages kontakt til virksomheder der skal deltage i fase III.
- I fase III samarbejdes der med repræsentative virksomheder om indsamling af oplysninger og foretages livscyklus-vurderinger.
- I fase IV opstilles forslag til handlingsplaner for renere teknologi i produktionsfasen.
- I fase V udarbejdes den afsluttende rapport.

## Projektets varighed

Der er givet tilsagn om støtte i december 1994. Projektet er således igangsat primo 1995 og afsluttet i september 1998.

## Financiering

Projektet er finansieret af Miljøstyrelsen samt Kalk- og Teglværksforeningen af 1893's medlemmer.

## Deltagere

Projektet er blevet fulgt af en følgegruppe, hvor følgende har deltaget:

- Poul Emmersen/Finn Juel Andersen/Inge Marie Skovgaard, formand, Miljøstyrelsen.
- Jørn Trelldal, Rambøll A/S.
- Jens Eisling, Bygge- og Boligstyrelsen.
- Christian Hjorth, SID.
- Peter Reisenhus, Vejle Kalk- og Mørtelværk A.m.b.A.
- Flemming Weisz, Jydsk Kalksandstensfabrik A/S.
- Hans Juel Andersen, Dansk Industri og Kalk- og Teglværksforeningen af 1893.
- Hanne Krogh, Statens Byggeforskningsinstitut.
- Marlene Haugaard, DTI-Byggeri, Betoncentret.

- Lars Søborg, Direktoratet for Arbejdstilsynet.
- Hans Henrik Kristensen/Niels Strange, BYG - Murersektionen.
- Per Mortensen/Jan Brandis, Entreprenørforeningens Nedbrydningssektion.
- Tom Rytlander, Dansk Industri.
- Lars Strand, Optiroc A/S.
- Jørgen Strøjer Hansen, Vedstaarup Teglværk A/S.
- Hasse Clemmensen, Vedstaarup Teglværk A/S.
- Erik Lauritzen/Niels Holm/Niels Trap Christensen, DEMEX, Rådgivende Ingeniører A/S.
- Helge Hansen/Lene Vissing Pedersen/Charlotte K. Frambøl, Murværkscentret.

Følgegruppen har afholdt 8 møder.

Til projektet har været tilknyttet en projektgruppe, hvori følgende har deltaget:

- Hans Juel Andersen, Wewers Teglværker A/S.
- Hasse Clemmensen, Vedstaarup Teglværk A/S.
- Jørgen Strøjer Hansen, Vedstaarup Teglværk A/S.
- Lars Strand, Optiroc A/S.
- Peter Schleicher, Optiroc A/S.
- Flemming Weisz, Jydsk Kalksandstensfabrik A/S.
- Niels Holm, DEMEX, Rådgivende Ingeniører A/S.
- Niels Trap Christensen, DEMEX, Rådgivende Ingeniører A/S.
- Mats Tørring, DEMEX, Rådgivende Ingeniører A/S.
- Bente Bach, Murværkscentret (referent).
- Lene Vissing Pedersen, Murværkscentret.
- Helge Hansen, Murværkscentret.
- Torben D. Møller, Murværkscentret.
- Charlotte K. Frambøl, Murværkscentret.

Projektgruppen har afholdt 13 møder.



# Livscyklusvurdering - basis for renere teknologi

## Menu

Fremtidige miljøforbedringer i den danske tegl- og mørtelbranche er baseret på en livscyklusvurdering af hele livsforløbet for tegl- og mørtelprodukter. Miljøforbedringer i branchen kræver at der arbejdes med praktiske løsninger til renere teknologi. Dette er nu skabt i form af realistiske forslag til anvendelse af renere teknologi ved produktion af tegl og mørtel. Der er samtidig foretaget en vurdering af forskellige alternative materials potentielle anvendelse i tegl og mørtelprodukter.

Projektets resultater viser, at især produktionsfasen står for det væsentlige bidrag til tegl og mørtels samlede miljøbelastning - i form af et væsentligt energiforbrug og deraf følgende emissioner til luft. I de senere faser af tegl og mørtels livsforløb er det især affaldsmængder og arbejdsmiljøet som bidrager til miljøbelastningen.

## Livscyklusvurdering giver overblik

### *Baggrund og formål*

Projektet er gennemført med henblik på at fremme brugen af renere teknologi i tegl- og mørtelbranchen. De miljømæssige forhold i alle faser af tegl- og mørtelprodukters livscyklus er analyseret, for på denne baggrund at kunne sætte ind med forslag til renere teknologi-løsninger, hvor miljøbelastningen vurderes mest betydende.

Forslagene beskriver realistiske måder at løse miljøproblemer på og er derfor bl.a. anvendelige i følgende sammenhænge:

- Anvendelse som branchespecifikke BAT-løsninger (BAT = Best Available Technology, bedst tilgængelig teknik) der nu som en del af EU's IPPC direktiv indarbejdes i den danske miljølovgivning.
- Opstilling af mål ved indførelse af miljøstyring.

Projektet indgår som led i en større koordineret indsats for at fremme renere teknologi blandt producenter af byggematerialer initieret af Dansk Industri. Projektet er således gennemført i overensstemmelse med generelle retningslinier for gennemførelse af brancheanalyser opstillet af Dansk Industri.

## Bred opbakning i branchen

### *Undersøgelsen*

Kalk- og Teglværksforeningen af 1893 har med teknisk bistand fra DTI-Murværkscentret og DEMEX, rådgivende Ingeniører A/S gennemført projektet. Gennem projektet er der skabt et samlet overblik over de væsentligste miljøbelastninger, som den danske tegl- og mørtelbranche giver anledning til på et detaljeringsniveau, der kun kendes fra få andre brancher.

Livscyklusvurdering er anvendt som metodisk grundlag for en mere teoretisk behandling af de mange miljøaspekter knyttet til fremstillingen af tegl- og mørtelprodukter. Der er for tegl og mørtel gennemført en samlet livscyklusvurdering efter internationale standarder.

Projektet indeholder en gennemgang af potentielle alternative materialetypers anvendelsesmuligheder i tegl- og mørtelprodukter. Gennemgangen omfatter 32 restprodukters mulige anvendelse.

Under hele projektføreløbet har en række af Kalk- og Teglværksforeningens medlemmer bidraget meget konstruktivt til projektet med såvel specifikke tekniske data som detaljeret indsigt i praktiske produktionsforhold, hvilket har resulteret i en række konkrete forslag til renere teknologi.

### **Materialevalg har miljøkonsekvenser**

#### ***Hovedkonklusioner***

Gennemførte projekt har belyst, at fremstilling af delmaterialer til mørtel og produktion af tegl er meget energikrævende processer. Tegl- og mørtelbranchen har generelt udnyttet de traditionelle muligheder for at nedsætte deres energiforbrug.

Midlet til yderligere nedbringelse af det specifikke energiforbrug er materialeoptimering:

- Optimering af bindemiddelindhold i mørtler:

Produktion af våd- og tørmørtel er en blande- og doseringsproces, hvor miljøbelastningen er begrænset. Produktion af delmaterialerne kalk og cement til mørtel er meget energikrævende processer. Den nye murværksnorm DS 414 åbner mulighed for at ændre mørtelsammensætningen og den fremtidige indsats inden for renere teknologi vil derfor ligge indenfor udvikling af funktionsmørtler med optimeret bindemiddelindhold.

- Optimering af lerets kornstørrelsesfordeling i tegl:

En optimering af kornstørrelsesfordelingen i strygeleret kan give mulighed for at nedsætte miljøbelastningen, idet

- et lavere vandindhold i den nystrøgne sten vil bevirke et mindre energiforbrug til tørringsprocessen.
- risikoen for gennemløbende revner mindskes og der opnås en bedre kornunderstøtning, hvorved stenens styrke forbedres. Mængden af kasserede sten reduceres og det specifikke energiforbrug for uskadt gods mindskes.

Alternative materialer kan erstatte primære råstoffer og eventuelt give et energitilskud ved teglbrænding, men kan også øge murværkets samlede miljøbelastning:

- Energiindholdet udnyttes ikke optimalt, da energien frigøres på et tidspunkt under brændingen, hvor energibehovet ikke er stort.
- Anvendelse af alternative materialer, som kan bidrage med energitilskud til brændingsprocessen, kan være forbundet med arbejdsmiljømæssige problemstillinger, som branchen på nuværende tidspunkt ikke er gearret til at håndtere.
- Tungmetalindhold (fra restproduktet) kan øge murværks miljøbelastning – i alle livscyklusfaser - og f.eks. bevirke, at nedrevet murværk er mere miljøfarligt.

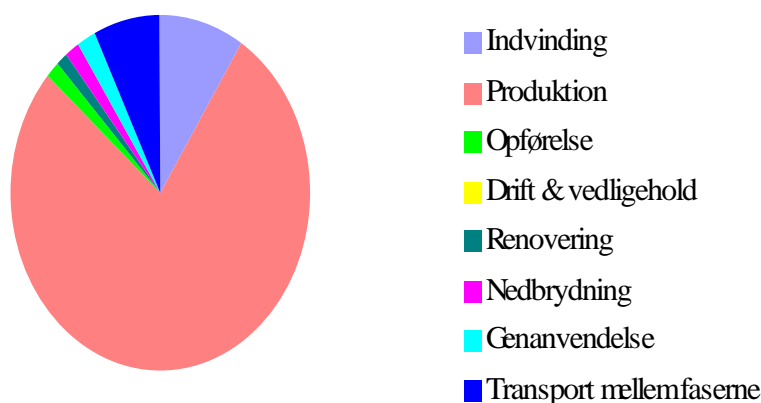
### **Indsatsområder for miljøforbedringer**

### **Projekresultater**

Den gennemførte livscyklusvurdering er fundamentet for forslag til handlingsplaner for renere teknologi ved produktion af tegl og mørtel. Vurderingen har belyst effekten af miljøparametrene energiforbrug, materialeforbrug, emissioner til luft og vand, affald samt arbejdsmiljø.

### **Brænding af tegl bidrager væsentligt til miljøbelastningen**

Energiforbruget i tegl og mørtels livsforløb er primært relateret til de første faser. Tegl har det væsentligste energiforbrug i produktionsfasen, hvor forbruget ved fremstilling af tegl udgør omkring 70% af det samlede energiforbrug. Andre betydelige energiforbrug - dog i mindre målestok - er relateret til brænding af delmaterialerne til mørtel samt transport mellem faserne, primært transport af teglprodukter.



### *Fordeling af energiforbrug på de enkelte livscyklusfaser*

### **Tegl og mørtel fremstilles af rigelige, ikke fornyelige råstoffer**

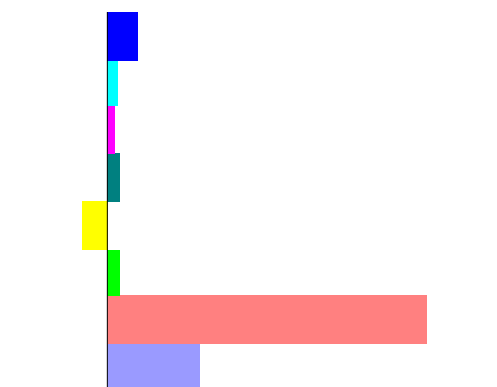
Tegl og mørtel fremstilles næsten udelukkende af naturligt forekommende danske råstoffer – ler, sand, kalk og grundvand. Branchens primære råstofforbrug er ler, og branchen forbruger hovedparten af det ler (eksklusiv ekspanderende ler) der indvindes i Danmark.

Af det samlede råstofforbrug af sand og kalk forbruger branchen kun en mindre del.

Brugen af alternative råmaterialer som erstatning for primære råstoffer er meget beskedent. Anvendelse af restprodukter fra andre industrier kræver omfattende viden om egenskaber og konsekvenser ved brug af disse materialer. Denne viden er endnu ikke opbygget.

Branchens samlede forbrug af grundvand svarer til omkring 3.000 husstandes årsforbrug. Forbruget ligger primært i forbindelse med vaskning af sand i indvindingsfasen. Miljøgennemgangen af deltagende virksomheder har vist, at procesvandet i stigende grad kan recirkuleres.

### ***Mørtel genoptager 5% af emissionerne til luft***



*Fordeling af CO<sub>2</sub>-emissioner til luft på de enkelte livscyklusfaser.  
Signaturer - se foregående figur.*

I tegl og mørtels livsforløb anvendes fossile brændsler som i forskellig grad afgiver CO<sub>2</sub>. Endvidere indgår der i tegl- og mørtelprodukterne delmaterialer, som ved brænding frigiver CO<sub>2</sub>. I drift- og vedligeholdelsesfasen sker der en karbonatisering af hydratkalken og cementen. Der sker således en CO<sub>2</sub>-optagelse under driften svarende til CO<sub>2</sub>-emissionen ved kalkspaltning i cement- og kalkovne.

Dette er i figuren illustreret ved en modsatrettet stolpe under drift- & vedligeholdelsesfasen.

#### ***Affald genanvendes primært som lavværdi***

Mængden af affald som genanvendes udgør omkring 75% af den samlede affaldsmængde. Det genanvendte affald består udelukkende af kasseret mørtel og tegl samt nedknust murværk. Hovedparten af det genanvendte affald knuses og genanvendes primært i ubundne bærelag i veje.

Højværdi-genanvendelsesmulighederne er stærkt begrænset primært på grund af problemer med at adskille tegl fra andre byggematerialer. Kun i produktionsfasen genanvendes knust tegl som magringsmiddel (erstatning for sand) internt i produktionen og eksternt som tennisgrus.

#### ***Støv, støj og ensidigt gentaget arbejde giver arbejdsmiljøproblemer***

Generelt for hele tegl og mørtels livsforløb er problemer med støv, støj og ensidigt gentaget arbejde som vurderes at være de væsentligste arbejdsmiljøproblemer. I forbindelse med opførelse er det dog ergonomiske forhold, fulgt af høreskader og luftvejsproblemer som betegnes som de væsentlige arbejdsmiljøproblemer.

På teglværkerne har miljøgennemgangen vist at det er muligt at eliminere støvproblemer i forbindelse med dosering af farvestoffet manganoxid og bariumforbindelser og samtidig opnå en præcis og effektiv dosering der igen er med til at minimere materialeforbruget. Både anvendte bariumforbindelser og manganoxid betegnes som farlige stoffer.

# Life cycle assessment - basis for cleaner technology

Future environmental improvement in the Danish Brick- and Mortar Trade is based on a life cycle assessment of clay brick, tile and mortar materials. Environmental improvement demands practical solutions for cleaner technology. This is now created in the shape of realistic proposals for cleaner technology in production of brick and mortar – and by the evaluation of different alternative materials potential use in brick and mortar products.

The results of the project have exposed that especially the production phase provides considerable contribution to the total environmental impact – in shape of high energy consumption and emissions to the air. In the later life cycle phases, it is especially waste and occupational health that provides the environmental impact.

## **Life cycle assessment gives a general view**

### ***Background and purpose***

The project is carried through in the aim to enhance use of cleaner technology for brick, tile and mortar products. Environmental conditions have been analysed for all phases in the life cycle of materials in order to propose cleaner technology solutions in the fields with high environmental impacts.

The solutions describe realistic ways to solve environmental problems and are e.g. useful in the following relations:

- As BAT solutions (Best Available Technology) in the trade. BAT is a part of the EEC IPPC directive, which will be a part of the Danish environmental legislation.
- List of goals for environmental management.

The project is a part of a larger coordinated effort to enhance use of cleaner technology in the production of building materials. DI (Conferation of Danish Industries) is a promotor for this effort, and this project is carried out in accordance with DI's lines of direction for such projects.

## **Large support by the trade**

### ***The investigation***

The Danish Brick and Lime Organization has studied the possibility for further use of cleaner technology in the production of brick, tile and mortar productions. This study is performed with technical assistance from the Danish Technological Institute, Masonry Centre and DEMEX Consulting Engineers. The project describes in details the essential environmental impacts caused by brick, tile and mortar materials. For the production of these materials the project will be important for implementation of cleaner technology – in the short – and in the long view.

Life cycle assessment is used as a basis method for assessment of the environmental impacts of bricks, tile and mortar materials in the total life cycle. The total life cycle assessment is performed according to international standards.

As a part of the project 32 alternative raw materials for potential reutilization have been treated systematically in order to point out possibilities and problems.

In all parts of the project members of the Danish Brick and Lime Organization as well as other firms working with brick, tile and mortar materials have contributed constructively both with technical data and with knowledge of practical production conditions resulting in proposals for cleaner technology.

## **Material choice has environmental consequences**

### ***Main conclusions***

The results of the project have shown that the manufacturing of constituent materials for mortar and production of brick and tile are very energy demanding processes. In general the trade has utilized the traditional opportunities to decrease the energy consumption.

The aim to further decrease of the specific energy consumption is optimizing the materials:

- Optimizing the binder content of mortars:

Mortar production consists essentially of dosing and mixing processes which reduces environmental impacts. Here the life cycle analyses have shown that the essential environmental parameters to affect are extraction and production of constituent materials. The future cleaner technology contribution could be optimizing the binder content by changing the mortar composition.

- Optimizing the grain size distribution of the clay applied to clay brick:

A well-graded grain size distribution of the clay gives opportunity to decrease the environmental impacts;

- A lower water content of the green brick leads to a lower energy consumption of the drying process.
- The risk for through-running cracks is reduced and a better support of each grain is obtained, by which the strength of the brick improves. The amount of scrap is reduced and the specific energy consumption of undamaged brick is reduced too.

Alternative materials can replace primary raw materials and some of them can give a supplement to the energy consumption but at the same time be connected to considerable environmental impacts:

- Some alternative materials can give a supplement to the energy consumption in the production of clay bricks and tile due to the content of organic substances which burn in the kiln. But at the same time they may cause occupational health problems which the works are not accustomed to handle.
- The energy content of some alternative materials is not utilized, because the energy is released at a time during the firing when the need of energy is low.
- The content of heavy metals may increase the total environmental impacts and for instance cause to classify demolished masonry as environmentally hazardous.

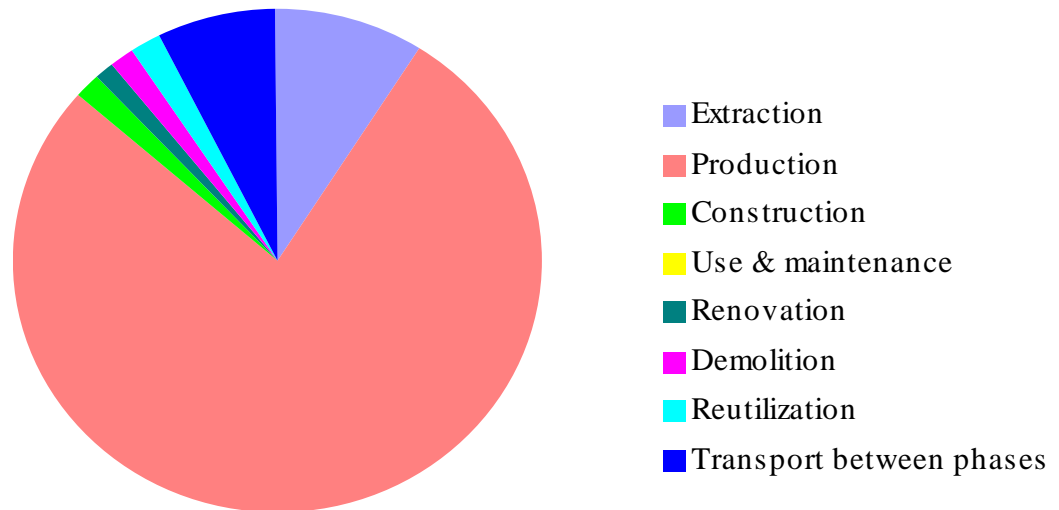
### **Areas of efforts**

#### ***Results of the projects***

The life cycle assessment is the basis of the proposal for cleaner technology plans of production of brick, tile and mortar. The assessment has shown the effect of the environmental parameters; energy consumption, material consumption, emissions to the air and water, waste and occupational health.

***Firing of brick contributes considerably to the environmental impacts***

The energy consumption is primarily related to the first phases of the life cycle. 70% of the energy is used in the production phase, especially the energy consumption in the production of clay bricks and tiles is high. Other considerable energy consumptions – but on a reduced scale – are related to firing of constituent materials of mortar and transport between the phases, primarily transport of clay bricks and tile.



*Distribution of energy consumption of the individual life cycle phases.*

***Clay bricks and mortar is manufactured from abundant, not renewable resources***

Brick and mortar is manufactured almost exclusively from natural Danish resources - clay, sand, lime and ground water. The trade uses the main part of extravated clay in Denmark (excl. expanded clay).

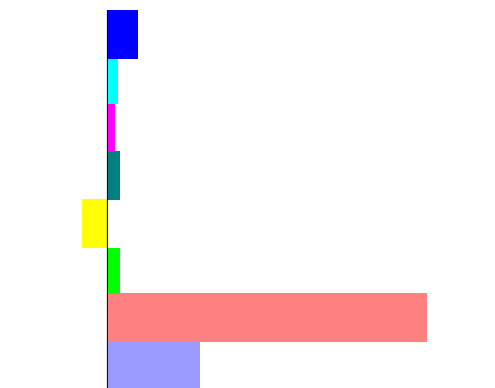
The trade uses only a minor part of the total extravated sand and lime in Denmark.

The use of alternative raw materials as replacement for primary resources is limited. Use of waste products from other industries demands comprehensive knowledge of properties and consequences by use of these materials. This knowledge is still not built up.

The total use of ground water corresponds to the annual consumption of about 3.000 households. The consumption is primarily related to wash out of sand in the extraction phase. The environmental review of the participating firms has shown that process water can be recirculated.



### ***Mortar reabsorbs 5% of CO<sub>2</sub> emissions to the air***



*Distribution of CO<sub>2</sub> emissions to the air for individual life cycle phase.  
Re. signature, see previous figure.*

Fossil fuels causing different amounts of CO<sub>2</sub> emissions are used in the life cycle of brick, tile and mortar materials. Further, some raw materials used in the production will emit CO<sub>2</sub> during burning processes.

In the phase of use and maintenance, part of the CO<sub>2</sub> corresponding to the emission due to carbonate decomposition in cement and lime kilns will be absorbed during carbonization of cement and lime.

This is illustrated in the figure by an opposite directed bar for the phase of use and maintenance.

#### ***Waste is reutilized primarily as low value***

The amount of waste which is reutilized accounts for about 75% of the total amount of waste. The reutilized waste consists of scrapped mortar, brick and demolished masonry.

The main part of the reutilized waste is crushed and reutilized as low value e.g. foundation in small roads, in fields and forests. Only part of the crushed bricks (less than 1% of the total amount) is reutilized as high value e.g. tennis gravel and as chamotte in clay mixture.

The possibilities for high value reuse are strongly limited, primarily because of the separation of bricks and mortar being a difficult process, caused by the adhesion between cement-containing mortars and the typical Danish bricks. So nearly all demolished masonry delivered to reutilization plants is crushed and used as filling materials.

#### ***Dust, noise and unilateral repeated work results in occupational health problems***

A general occupational health problem during the total life cycle of brick and mortar is dust, noise and unilateral repeated work. In the construction phase, the main problems are related to ergonomic conditions, hearing damages and problems of respiratory passages.

At the brick works, the environmental review has shown that it is possible to eliminate dust problems related to dosing of manganoxide and bariumsulphate and at the same time get an exact and efficient dose and minimize the material consumption. Both manganoxide and bariumsulphate are registered as hazardous materials.



# 1 Indledning

## 1.1 Målsætning for projektet

Projektets formål har været at analysere de miljømæssige forhold i alle faser af tegl- og mørtelprodukters livsforløb, og på denne måde danne grundlag for det fortsatte arbejde med indførelse af renere teknologi i branchen.

Projektet udpeger fremtidige indsatsområder for indførelse af renere teknologi i tegl- og mørtelbranchen. Indsatsområderne er udpeget på baggrund af en analyse af de miljømæssige forhold i alle faser af tegl- og mørtelprodukters livsforløb.

## 1.2 Baggrund for projektet

I "Delhandlingsplan for renere teknologi- og genanvendelsesindsats i bygge- og anlægssektoren 1993-1997", Miljøstyrelsen 1992, er behovet for at fremme genanvendelse og renere teknologi inden for byggeri og anlæg blevet fremhævet.

Nærværende projekt skal ses i sammenhæng med en række andre projekter, der beskæftiger sig med renere teknologi inden for byggevarerindustrien og byggebrancherne. Særligt fremhæves i denne forbindelse projektet "Kortlægning af dansk byggevarerindustri og dens miljømæssige forhold" gennemført på initiativ af Dansk Industri.

Det metodiske grundlag for projektet tager udgangspunkt i delprojektet hertil, "Udarbejdelse af model for renere teknologi brancheanalyse". Umiddelbart forud for nærværende projekt omhandlende renere teknologi i tegl- og mørtelbranchen blev gennemført et pilotprojekt efter samme metodiske model for beton under titlen "Brancheanalyse Beton". Dette projekt har på flere områder dannet grundlag for dette projekt.

## 1.3 Gennemførelse

Der er foretaget en kortlægning af tegl- og mørtelbranchen. Kortlægningen har omfattet branche- og produktprofiler for tegl og kalksandsten, våd- og tørmørtel, murerfirmaer og entreprenører, facaderensningsfirmaer, nedbrydning og genanvendelse. Kortlægningen er overvejende baseret på oplysninger fra virksomhedsniveau frem for brancheniveau.

På grundlag af kortlægningen samt ved gennemgang af miljøforholdene på 15 virksomheder er der foretaget en livscyklusvurdering af alle faser i tegl og mørtels livsforløb.

I tegl og mørtels livsforløb indgår faserne:

- Indvinding/produktion af delmaterialerne ler, sand, kalk, cement
- Produktion af tegl og mørtelprodukter
- Opførelse og vedligehold af murværk
- Renovering af facader
- Selektiv nedbrydning
- Bortskaffelse og genanvendelse af murværk
- Transport af materialer mellem faserne

For hver fase er indsamlet data til brug for opgørelsen af livscyklusvurderingen inden for områderne:

- Energiforbrug
- Materialeforbrug
- Emissioner:
  - Til luft
  - Til vand
- Affald
- Arbejdsmiljøforhold

De deltagende virksomheder er udvalgt således at alle relevante miljøbelastninger er belyst, og virksomhederne benytter en for branchen avanceret teknologi og har en betydende produktion. De deltagende virksomheder er som følger:

- 2 grusgrave, begge leverandører til mørtelværker
- 2 mørtelværker: 1 vådmørtelproducent og 1 tørmørtelproducent
- 3 teglværker: 2 murstensproducenter og 1 tagstensproducent
- 1 kalksandstensværk
- 4 entreprenører/murerfirmaer
- 2 nedbrydningsfirmaer
- 2 genanvendelsesfirmaer

Med udgangspunkt i opgørelsen af livscyklusvurderingen er der opstillet forslag til handlingsplaner for renere teknologi i tegl- og mørtelbranchen. I udarbejdelsen af forslag til handlingsplaner er der lagt vægt på realistiske løsningsmuligheder. Miljøgennemgangene på virksomhederne og ikke mindst dialogen med virksomhederne har været befordrende for udarbejdelsen af forslag til handlingsplanerne for renere teknologi.

Sideløbende er der udarbejdet et katalog med kriterier for genanvendelse af alternative materialer i tegl- og mørtelprodukter. Kataloget er en status over hvilke materialer der frem til 1998 har været påtænkt, forsøgt eller bliver anvendt i tegl- og mørtelprodukter.

#### **1.4 Afgrænsning af projektet**

Projektet beskriver følgende materialer i hele deres livscyklus:

- Teglmursten
- Tegltagsten
- Kalksandsten
- Mørtel

I projektbeskrivelsen angives følgende livscyklusfaser:

- Indvinding af råvarer
- Fremstilling af produkter
- Byggefase
- Drift og vedligehold

- Renovering herunder facaderensning
- Nedrivning
- Genanvendelse af materialer

I disse forløb indgår der dels en livscyklusvurdering for de enkelte tegl- og mørtelprodukter, dels livscyklusvurdering for bygningsdele. I denne forbindelse indgår vurderinger af materialernes og bygningsdelenes levetider.

I de forskellige livscyklusfaser optræder materialerne på forskellig vis.

Udgangspunktet er selve produktionen af tegl, kalksandsten og mørtel i livscyklusfase 2. Denne produktion er søgt beskrevet 100% i dette projekt.

Råmaterialerne beskrives i livscyklusfase 1. Af de beskrevne materialer anvendes forskellige andele af den totale produktion i tegl- og mørtelbranchen.

I livscyklusfase 3, byggefasen, overgår produkterne til konstruktionsmaterialerne murværk og tegltage. I faserne 3, 4 og 5 udgør murværk og tegltage kun en del af de berørte branchers aktiviteter.

I livscyklusfase 6, nedrivning og fase 7, genanvendelse, omdannes murværk og tegltage til materialer der i en vis udstrækning genbruges til samme formål, men generelt omdannes til andre materialer med andre anvendelsesmuligheder.

Mellem nogle af faserne foregår transport, hvis omfang er søgt klarlagt.

## 1.5 Rapportering

Nærværende slutrapport rummer en samling af de væsentligste resultater og konklusioner opnået gennem det samlede projektførløb. Den foreliggende rapport er således at betragte som et sammendrag af resultaterne opnået i fase I-IV. Ønskes en mere tilbundsgående indsigt i de mange tekniske aspekter henvises læseren til delrapporterne for de enkelte faser.

Projektets enkelte delfaser er særskilt afrapporteret i følgende delrapporter:

Delrapport fase I+II "Branche- og produktprofiler".

Delrapport fase III "Livscyklusvurdering".

Katalog: Forslag til handlingsplaner for renere teknologi i tegl- og mørtelbranchen.

Katalog: Kriterier for anvendelse af alternative råmaterialer i tegl- og mørtelprodukter.

Projektets hovedrapport kan rekvireres hos Miljøstyrelsen, medens projektets delrapporter og kataloger kan rekvireres ved henvendelse til DTI-Byggeri, Murværkscentret.



## 2 Grundlag og forudsætninger

Teglmursten og mørtel danner efter opmuring på byggepladsen konstruktionsmaterialet murværk. I murværk anvendes også mursten af andre materialer, f.eks. kalksandsten, men tegl er i Danmark det helt dominerende materiale til mursten.

Tegl er et keramisk materiale. Det fremstilles i princippet ved brænding af naturligt forekommende lermaterialer. Ved formgivningen (strygning) udnyttes lerets plastiske egenskaber. I produktionen anvendes også andre materialer: magringsmidler som sand, farvestoffer, f.eks. manganoxid og porøsitetgivende materialer, f.eks. savsmuld.

Mørtel består i brugsklar blanding af bindemidler, tilslag og vand. Bindemidlerne er kalk og/eller cement, evt. andet hydraulisk materiale.

Murværk anvendes primært til facader (hulmurskonstruktioner) samt indermure.

Tegltagsten fremstilles som vingetegl eller falstegl og anvendes i tagkonstruktioner.

Mursten og mørtel anvendes desuden til belægninger, indendørs og udendørs.

Til udendørs belægninger anvendes specielt hårdtbrændte sten.

Mørtel anvendes desuden til pudsning, fortrinsvis af murværk.

Tegl, kalksandsten og mørtel fremstilles næsten udelukkende af naturligt forekommende danske råmaterialer. I tabel 2.1 er vist sammensætninger der dækker langt hovedparten af materialerne.

I forbindelse med murværkskonstruktioner anvendes også: murbindere, murpap og saltsyre.

I forbindelse med tegltage anvendes også: undertag/teglbindere og mørtel.

	Tegl	Kalksandsten	Mørtel
Ler	90 (70-100)	-	-
Sand	10 (0-30)	94	85-90
Brændt kalk (CaO)	-	6	-
Hydratkalk (Ca(OH) <sub>2</sub> )	-	-	6 (0-12)
Cement	-	-	6 (0-12)
Bariumforbindelser	< 0,1	-	-
Savsmuld	< 1	-	-

Tabel 0.1 Sammensætninger, vægt% tørstof.

**3**



## 4 Livscyklusvurdering

### 4.1 Målsætning

I henhold til projektets overordnede målsætning gennemføres livscyklusvurderingen med det formål, at *"analysere de miljømæssige forhold i alle faser af tegl- og mørtelprodukters livscyklus"*. Endvidere er det målsætningen, at der *"på baggrund af analysen skal arbejdes videre med indførelse af renere teknologi i tegl- og mørtelbranchen"*.

Livscyklusvurderingen har således *ikke* til formål at foretage en relativ vurdering af tegl- og mørtelprodukter i forhold til andre byggematerialer, men derimod at udpege fremtidige indsatsområder for indførelse af renere teknologi.

### 4.2 Metodisk grundlag for LCA

I henhold til den oprindelige plan for arbejdet med livscyklusvurderingen af tegl og mørtel anvendes SETAC's overordnede retningslinier for indholdet af en livscyklusvurdering som reference og metodisk grundlag. SETAC definerer i første række kun den overordnede struktur for indholdet og gennemførelsen af livscyklusvurderinger. Kun de indledende faser er fastlagt på et operationelt niveau, medens de andre endnu kun foreligger på konceptuelt niveau.

Internationalt standardiseringsarbejde på området har resulteret i to standarder om LCA: ISO 14040: "Life Cycle Assessment - Principles and Framework" og ISO 14041: "Environmental Management - Life Cycle Assessment - Goal and Scope Definition and Inventory Analysis".

UMIP-metoden repræsenterer en operationel metode, der forholder sig til samtlige stadier i gennemførelsen af en livscyklusvurdering. UMIP er i sin principielle form i overensstemmelse med de overordnede retningslinier givet i SETAC.

Kortlægningsdelen er gennemført i henhold til SETAC's "A Code of practice", som ligger tæt op af ISO 14040 i UMIP-metodens fortolkning.

### 4.3 Afgrænsning

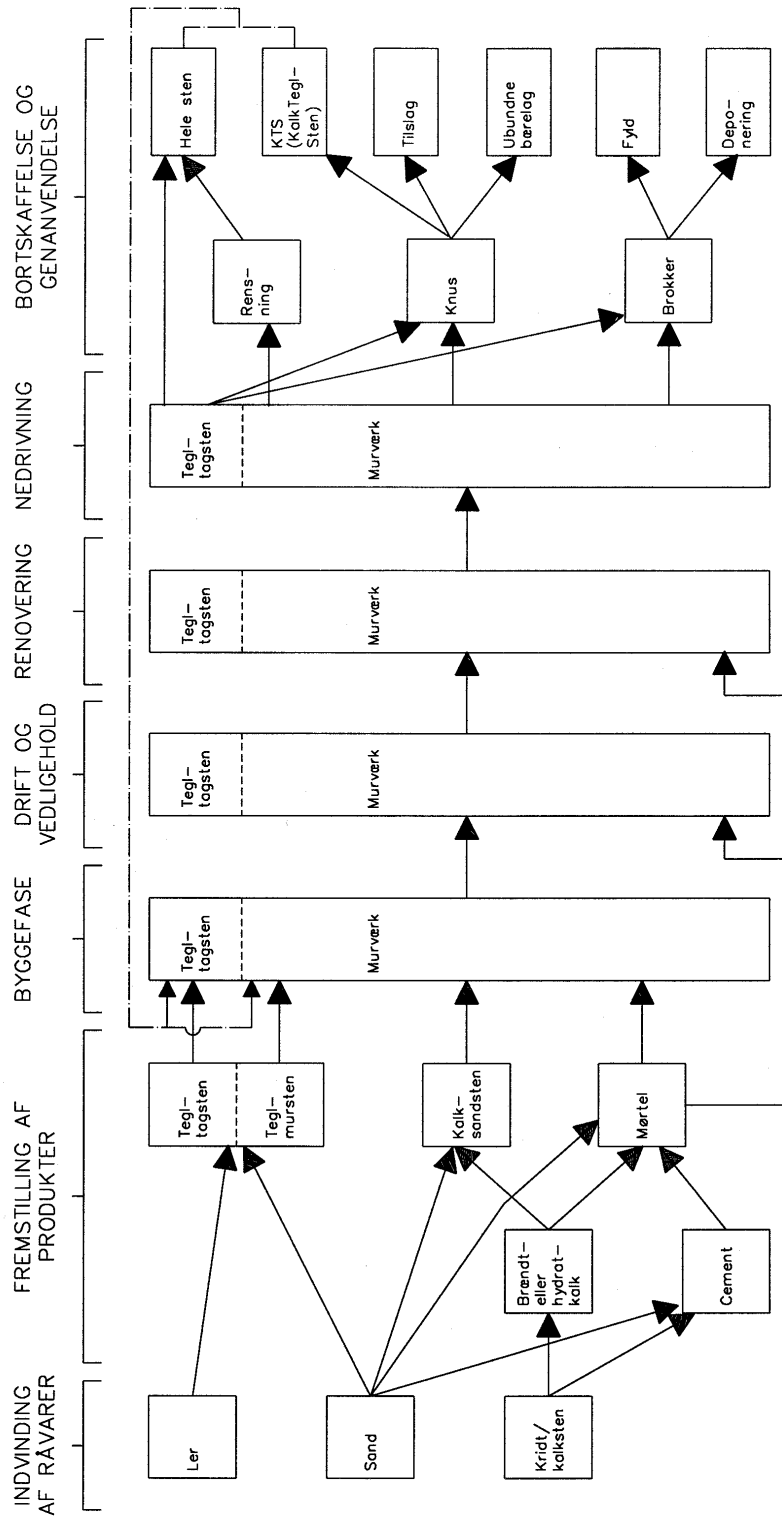
Under afgrænsningen er fastlagt, hvor stor en del af tegl- og mørtelprodukternes livsforløb, der medtages i den samlede vurdering. På figur 3.1 er gengivet en skematisk oversigt over livsforløbet i tegl og mørtel. Endvidere er foretaget en afgrænsning af, hvilke vurderingsparametre den samlede vurdering inkluderer, jvf. delrapport III, afsnit 4.2 for yderligere uddybning af den foretagne afgrænsning.

#### 4.3.1 Fastlæggelse af livsforløb

I UMIP-projektet defineres livsforløb, som følger:

*"Livsforløbet er en betegnelse for de processer, der er en forudsætning for eller en konsekvens af produktets eksistens, fra indvinding af råstoffer over produktion af materiale og fremstilling og brugen af produktet til dets bortskaffelse."*

Livsforløbet for tegl- og mørtelprodukter (figur 3.1) defineres i dette projekt i lighed med ovennævnte. Dog med den ændring, at bortskaffelse ændres til bortskaffelse og genanvendelse. Denne ændring er valgt ud fra ønsket om at fokusere på værdien af genanvendelse.



Figur 0.1 Skematisk oversigt over livsforløbet for tegl og mørtel.

4.3.2

### 4.3.3 Datagrundlag

Datagrundlaget for opgørelsen har baggrund i delrapporten fase I og II, Renere teknologi i Tegl- og Mørtelbranchen, 1996). Anvendte data er fra 1995. Øvrige afgrænsninger fremgår af delrapport fase III, afsnit 4.2.4.

Dataene er efterfølgende udbygget ved interview og miljøgennemgang af udvalgte virksomheder i tegl- og mørtelbranchen. De udvalgte virksomheder er udvalgt således, at alle relevante miljøbelastninger er belyst.

I udvælgelsen af virksomhederne er der lagt vægt på at virksomhederne benytter en for branchen avanceret teknologi og har en betydende produktion. For producenter af delmaterialer er der endvidere lagt vægt på, at deltagende virksomhed er underleverandør til tegl- og mørtelbranchen.

Deltagende virksomheder fremgår af delrapport fase III, afsnit 4.3.1.

I tabel 3.1 er angivet hvilke delmaterialer og procestyper der indgår i opgørelsen samt hvilken datatype og -kilde. Usikkerheden på data fremgår af delrapport III.

Livsforløb & procestype	Datatype			Datakilde					Indgår i opgørelse	Kommentarer
	Produkt-specifikke	Sted-specifikke	Generelle	1	2	3	4	5		
<b>Råstofindvinding og materialefremstilling</b>										
Ler	x								ja	Indvinder, litteratur
Sand	x								ja	Indvinder, litteratur
Kalk	x	x							ja	Indvinder, litteratur
Cement	x	x							ja	Producent, litteratur
Vand			x						ja	Litteratur
Savsmuld		x							ja	Teglproducent, litt.
Manganoxid			x						nej	Leverandør, litteratur
Ba-forbindelser			x						nej	Leverandør, litteratur
Gasur		x							nej	Litteratur
Chamotte	x								ja	Teglproducent
Træ		x							nej	Litteratur
Plast		x							nej	Litteratur
Asfaltpap	x								nej	Producent, litt.
Bindere	x								nej	Producent, litt.
Saltsyre		x							nej	Litteratur
Ethanol		x							nej	Litteratur
Papir			x						nej	papirproducent
<b>Produktion</b>										
Teglmursten	x								ja	Producent, litt.
Tegltagsten	x								ja	Producent, litt.
Vådmørtel	x								ja	Producent, DMØK, litt.
Tørmørtel	x								ja	Producent, DMØK, litt.
<b>Opførelse &amp; vedligehold</b>										
Murværk	x								ja	Byggeplads, litteratur
Tegltag	x								ja	Byggeplads, litteratur
Levetid	x								(ja)	MUC
<b>Renovering</b>										
Facaderensning		x							nej	Rensfirma, MUC, litt.
Ornlægning af tag	x								ja	MUC, litt.
Renov. af facader	x								ja	Byggeplads, litteratur
Øvrig teglrenov.	x								ja	Byggeplads, litteratur
<b>Nedbrydning</b>										
Selektiv nedbrydning	x								ja	Nedbrydningsfirma
<b>Bortskaffelse &amp; genanvendelse</b>										
Knusning	x								ja	Genanvendelsesfirma
Rensning	x								ja	Genanvendelsesfirma
<b>Transport</b>										
Afstande & middel	x		x						ja	Producenter
<b>Energisystemer</b>										
Energifremstilling									nej	
<b>Noter</b>										
1) Målinger for det aktuelle produkt eller en aktuel proces i livsforløbet.										
2) Beregninger for det aktuelle produkt eller en aktuel proces i livsforløbet (ud fra massebalance betragtninger og input data for den aktuelle proces).										
3) Ekstrapolation fra data for samme procestype eller teknologi.										
4) Ekstrapolation fra data for andre procestyper eller teknologier.										
5) Kvantitative data er ikke fremskaffet eller ikke kvalificeret estimat.										
Produktspec. data:	processer direkte relateret til tegl og mørtel.									
Stedspec. data:	aktuelle lokaliteter i tegl og mørtels livsforløb, men ikke direkte relateret til tegl og mørtel.									
Generelle data:	er alle andre.									

Tabel 0.1 Referencegrundlag for data.

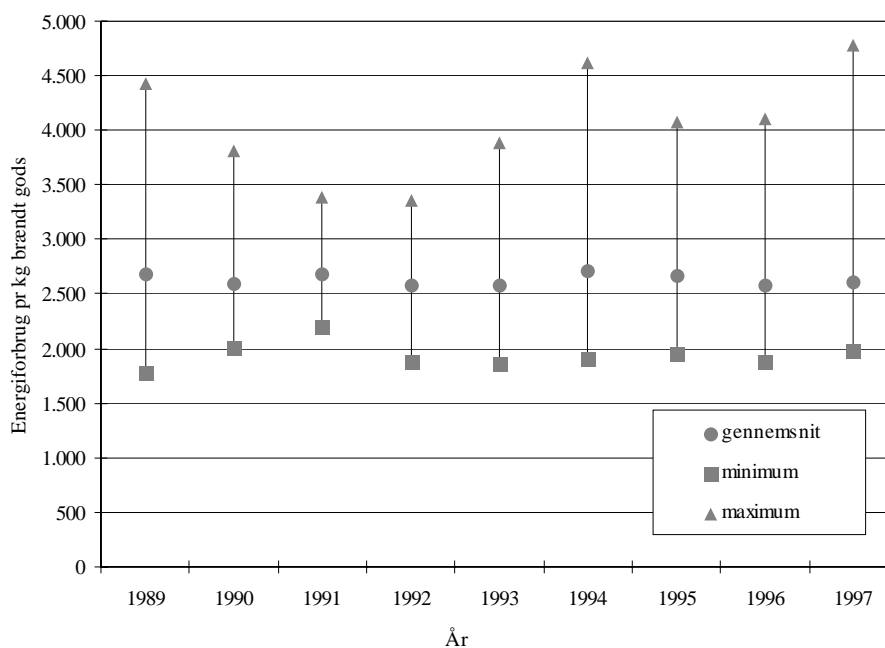
#### 4.3.4

### 4.3.5 Dataaktualitet

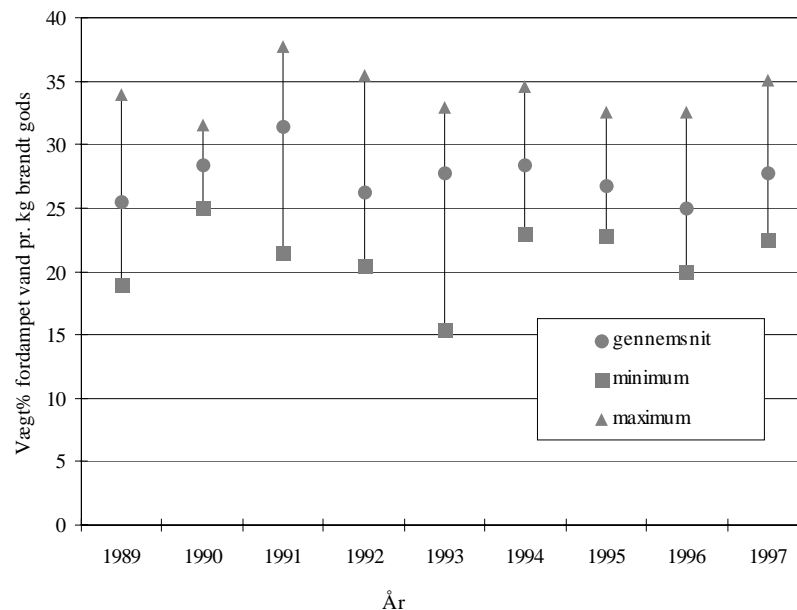
På basis af Murværkscentrets indgående kendskab til tegl- og mørtelbranchen skønnes det, at de anvendte data fra 1995 og gennemført miljøgennemgang af virksomheder i 1996 fortsat er aktuelle.

Dette underbygges af følgende:

- Murværkscentret har i perioden 1980-1997 foretaget en årlig energiundersøgelse af teglværkernes energiforbrug. Det gennemsnitlige energiforbrug pr. kg brændt gods i perioden 1989-1997 er vist i figur 3.2. Maksimum og minimum er ligeledes angivet. Værdierne er korrigeret for energiforbrug til kalkspaltning. Det gennemsnitlige energiforbrug er uændret siden 1989. Spredningen varierer, hvilket primært er betinget af antal deltagende værker (jo flere teglværker som har deltaget i den årlige undersøgelse, jo større spredning).
- Opgørelsen over den mængde vand der borttørres i tørringsanlægget viser en tilsvarende tendens (figur 3.3). Den gennemsnitlige mængde er stort set uændret siden 1989.
- Recepterne for tegl, mørtel og murværk er uændret i forhold til 1995.
- Den indvundne mængde ler til teglproduktion i 1996 er uændret i forhold til 1995-tal (Skov- og Naturstyrelsen).



Figur 0.2 Gennemsnitlig energiforbrug pr. kg brændt gods i perioden 1989-1997.



Figur 0.3 Gennemsnitlig mængde vand der borttørres.

#### 4.4 Opgørelse

I opgørelsen indgår miljøpåvirkninger for de mængdemæssigt betydeligste delmaterialer. Det skønnes at miljøpåvirkningerne for 99% af de delmaterialer der indgår i tegl og mørtels livsforløb er opgjort.

Miljøpåvirkninger ved indvinding af rødler og blåler er vægtet på grundlag af oplyst forbrug i teglproduktionen, 1995.

Miljøpåvirkninger ved indvinding af bakkesand er vægtet på grundlag af oplyst salgstal for henholdsvis vådmørtel og tørmørtel, 1995. Sandforbruget i teglproduktionen indgår ikke i vægtingen.

Miljøpåvirkninger ved produktion af kalk og cement er baseret på oplysninger fra Faxe Kalk og Ålborg Portland (Beton-projektet).

Miljøpåvirkninger ved produktion af teglmursten er baseret på produktionstal modtaget af teglmurstensproducenter, 1995. Dette indebærer at miljøpåvirkningerne er vægtet som funktion af stentype (blødstrøgne - cellesten, røde - gule sten).

Miljøpåvirkninger ved produktion af mørtel er vægtet på grundlag af oplyst salgstal for henholdsvis vådmørtel og tørmørtel, 1995.

Miljøpåvirkninger ved transport af bakkesand og mørtel er vægtet på grundlag af oplyst salgstal for vådmørtel og tørmørtel, 1995.

Delmaterialernes miljøpåvirkninger pr. m<sup>2</sup> mur er beregnet på basis af teglværkernes forbrugstal (ler og sand) og på basis af en mørtel med blandingsforholdet KC 50/50/700. (På grundlag af mørtelværkernes forbrugstal på kalk, cement og sand fås et blandingsforhold på KC 51/49/735 (datagrundlag: 62%)).

En samlet oversigt over miljøpåvirkningerne pr. m<sup>2</sup> er givet i bilag 3, delrapport fase III.

##### 4.4.1

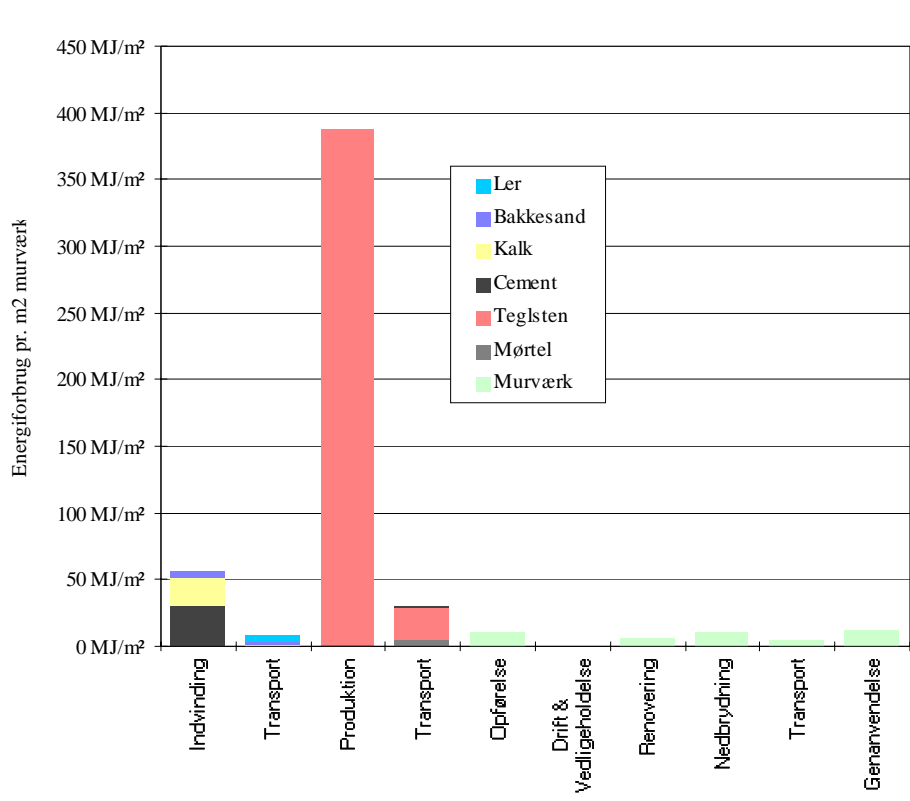
#### 4.4.2 Energiforbrug

Det totale energiforbrug pr. 1 m<sup>2</sup> murværk er for hele tegl og mørtels livsforløb 529 MJ/m<sup>2</sup> murværk. På de enkelte faser fordeler energiforbruget sig som vist i figur 3.4.

Energiforbruget i tegl og mørtels livsforløb er primært relateret til de første faser. I indvindingsfasen forbruges ca. 10%, i produktionsfasen 70% og ved transport til byggeplads ca. 5% af det totale energiforbrug.

##### Mørtel

For mørtel ligger det væsentligste energiforbrug i indvindingsfasen, hvor der hovedsagligt forbruges energi ved fremstilling af delmaterialerne til mørtel - kalk og cement. Energiforbruget til indvinding af bakkesand er vægtet på grundlag af produktionstal for vådmørtel og tørtmørtel.



Figur 0.4 Totalt energiforbrug for 1 m<sup>2</sup> murværk.

Ved udelukkende at anvende tørtmørtel i murværket fås i indvindingsfasen et merforbrug på omkring 25 MJ/m<sup>2</sup> murværk. Det øgede energiforbrug er en konsekvens af, at der kun kan anvendes tørret sand i tørtmørtler.

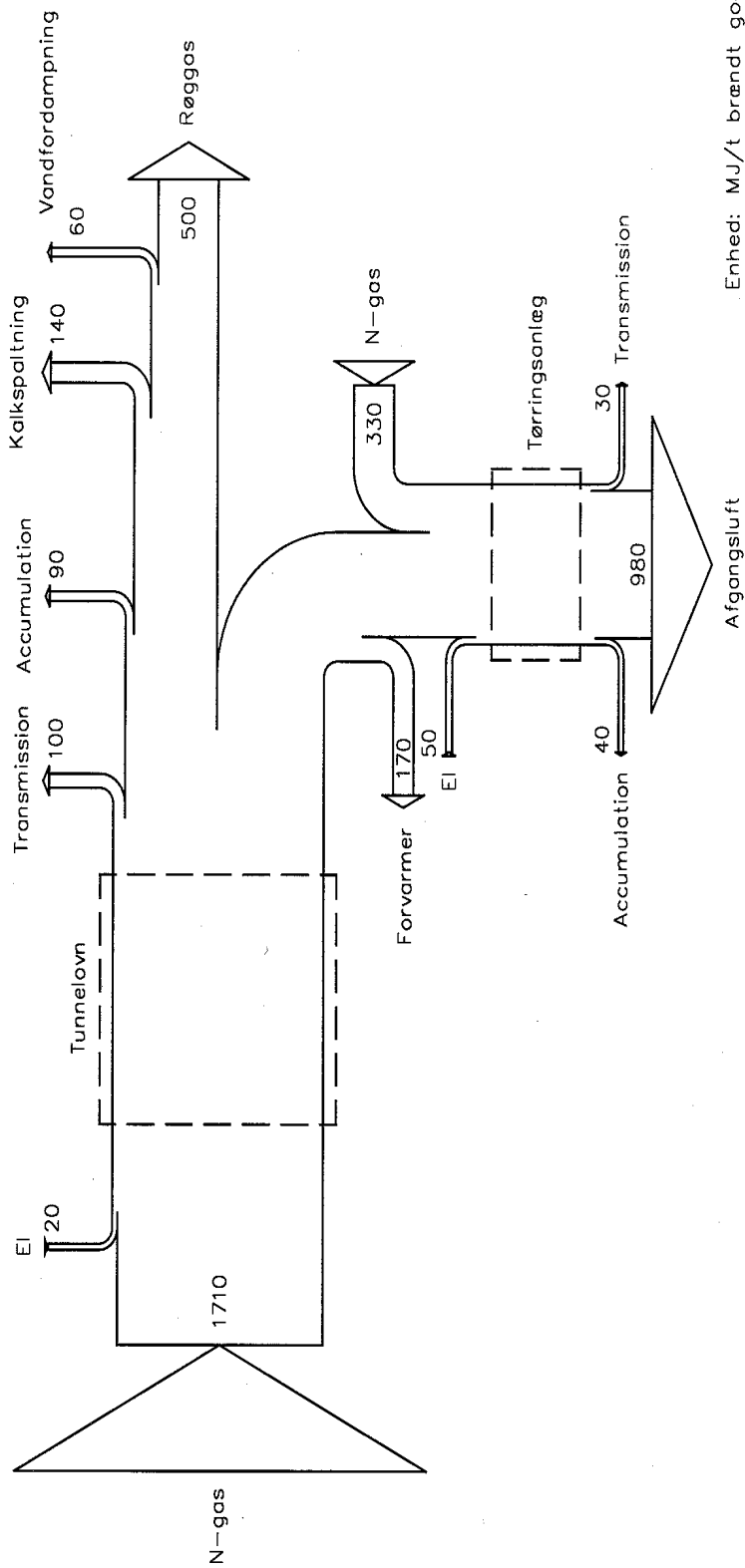
Selve produktionen af mørtel er uafhængig af mørteltype (våd eller tørtmørtel). Produktionen består i det væsentligste af en blandeproces og energiforbruget hertil er begrænset.

##### Tegl

Tegl har det væsentligste energiforbrug i produktionsfasen, hvor forbruget ved fremstilling af tegl udgør omkring 70% af det totale energiforbrug.

Energiforbruget ved teglfremstilling fordeles med ca. 10% ved lertilberedning, efterbehandling samt rumopvarmning/belysning og ca. 90% til tørring og brænding. Figur 3.5, som viser energiflowet ved teglproduktion, er baseret på en gennemmåling foretaget på Teglværk 1 i 1992. Figuren er typisk for energifordelingen på tørringsanlæg og ovn på et dansk teglværk.

# ENERGI – FLOW PÅ TEGLVÆRK



Figur 0.5 Energiflow ved produktion af teglmursten. Diagrammet er baseret på en gennemmåling foretaget på Teglværk 1 i 1992 udført af Murværkscentret.

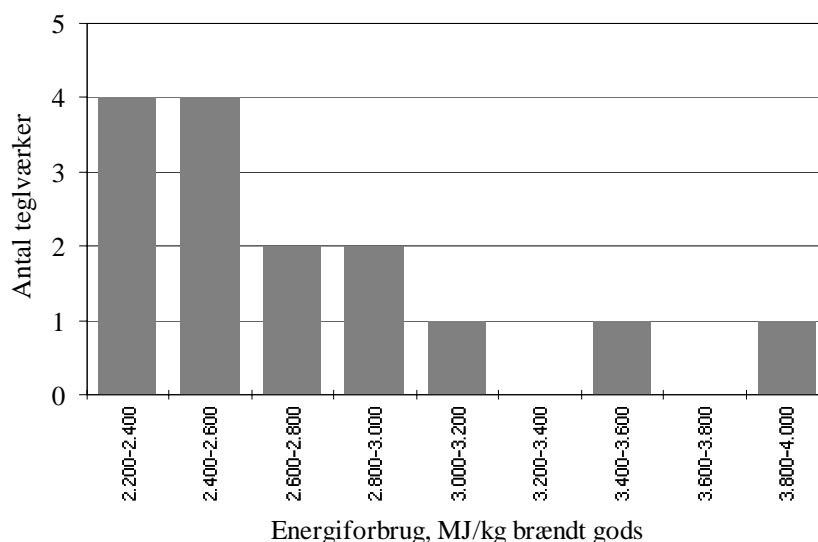


Aktuelle opgørelse er et vægtet gennemsnit baseret på et datagrundlag på 87%. Energiforbruget på de enkelte værker udviser betydelige variationer. Figur 3.6 viser de enkelte værkers energiforbrug pr. ton brændt gods. Som det fremgår af figuren, ligger hovedparten af værkerne med et energiforbrug mellem 2.200-3.000 MJ/t brændt gods ( $\approx 300-400$  MJ/m<sup>2</sup>). Denne variation er i høj grad betinget af tre parametre; produkttype, ovnkonstruktion samt hvor hyppigt, der veksles mellem de enkelte produkttyper. Det vægtede energiforbrug fremgår af tabel 6.7 (delrapport fase III, afsnit 6.1.1) (2.757 MJ/t brændt gods). I opgørelsen af energiforbruget er der ikke korrigeret for energiforbruget til kalkspaltning. Energiforbruget relateret til brænding af savsmuld er ikke medtaget i figur 3.6 (ca. 0-50 MJ/t brændt gods).

### Murværk

Energiforbruget ved opførelse og renovering er relateret til brug af eldrevne arbejdsredskaber samt transport af materialer. Drift og vedligeholdelse af murværk er ikke opgjort, idet det skønnes at miljøpåvirkningerne ved drift og vedligeholdelse er stærkt begrænset. Opgørelsen er begrænset således at opvarmning ikke indgår.

I nedbrydnings- og genanvendelsesfaserne er energiforbruget relateret til dieseldrevne entreprenørmaskiner.



Figur 0.6 Fordeling af energiforbrug ved fremstilling af teglmursten, 1995 (Kilde: spørgeskemaundersøgelse, 1996, Murværkscentret).

### Transport

Energiforbruget ved transport mellem faserne er primært relateret til transport af tegl. Transport af delmaterialer, mørtel (såvel våd som tør) og nedbrudt murværk er relativt beskedent. Denne fordeling af energiforbruget ved transport afspejler tydeligvis rationelle og æstetiske parametre:

- 1 Ved valg af delmaterialer, mørtel og genbrugsstation er parametre som teknisk kvalitet, pris, transportafstand og lignende dominerende. Ved valg af mursten foretages valget primært på udseende og pris.

Transportfordelingen viser endvidere, at produktion af delmaterialer og mørtel samt genbrugsstationer typisk forefindes i flere egne af landet, hvorimod teglsten ofte er unik for de enkelte værker og en teglsten med en bestemt farve, prægning eller lign. typisk kun kan leveres fra et enkelt værk eller kun ganske få værker.

### Tegl- og mørtelbranchens andel af totalt energiforbrug i Danmark

Energiforbruget ved indvinding af sand og ler i tegl- og mørtelbranchen udgjorde i 1995 29 TJ, hvoraf forbruget ved indvinding af sand udgjorde ca. 24 TJ. svarende til ca. 1% af det totale energiforbrug ved indvinding af grus, ler, sten, salt m.m. (tabel 3.2).

Tegl- og mørtelbranchens andel af energiforbruget i sten, ler- og glasindustriens energiforbrug udgør ca. 11% (tabel 3.2). Teglbranchen producerede i 1995 omkring 1 mio. tons tegl.

I tegl- og mørtelbranchens andel af bygge- og anlægsvirksomhedernes energiforbrug indgår forbruget ved opførelse, renovering, nedrivning og genanvendelse (tabel 3.2). Tegl- og mørtelbranchens lave andel af energiforbruget i bygge- og anlægsvirksomhederne afspejler sandsynligvis branchens store forbrug af manuel arbejdskraft.

Energistyrelsen opgjorde energiforbruget ved transport for hele 1995 til 185.000 TJ, hvoraf vejtransport udgjorde 140.000 TJ. Transporten af tegl fra teglværk til byggeplads udgjorde knap 60% af det totale energiforbrug ved vejtransport i tegl- og mørtelbranchen (ca. 175 TJ).

	Energiforbrug	Tegl og Mørtelbranchens %-vise andel
Totale energiforbrug i DK ved udvinding af grus, ler, sten, salt m.m. *	3.839 TJ	
heraf Tegl- og mørtelbranchens energiforbrug	29 TJ	1%
Totale energiforbrug i DK i Sten, ler og glasindustri *	24.809 TJ	
heraf Tegl- og mørtelbranchens energiforbrug	2.633 TJ	11%
Totale energiforbrug i DK ved bygge og anlægsvirksomhed *	7.326 TJ	
heraf Tegl- og mørtelbranchens energiforbrug	266 TJ	4%
Totale energiforbrug i DK ved vejtransport *	140.000 TJ	
heraf Tegl- og mørtelbranchens energiforbrug	303 TJ	1%

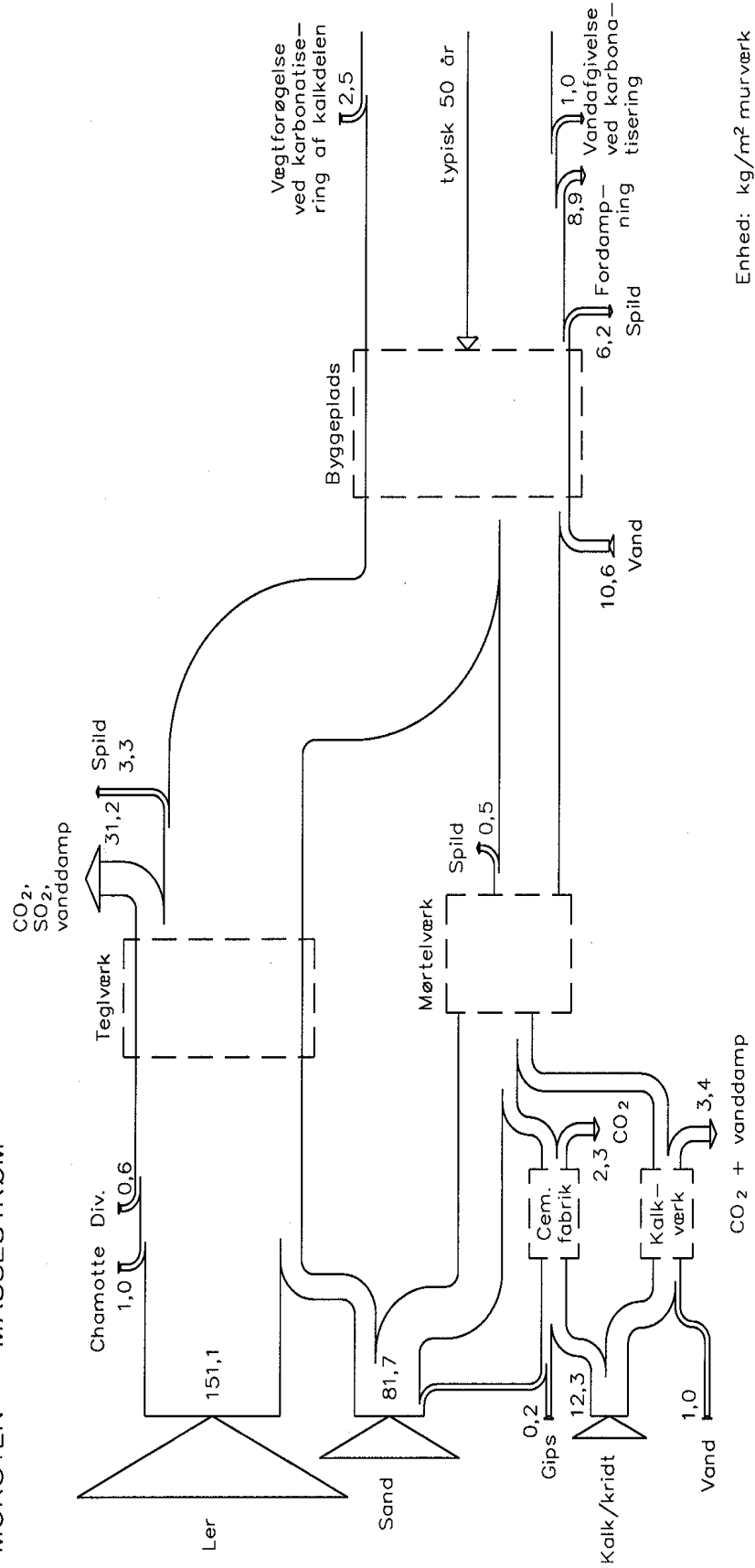
Tabel 0.2 Tegl og mørtelbranchens andel af det totale energiforbrug i Danmark (\*Faktiske totale energiforbrug, Energistatistik 1996, Energistyrelsen).

#### 4.4.3 Materialeforbrug

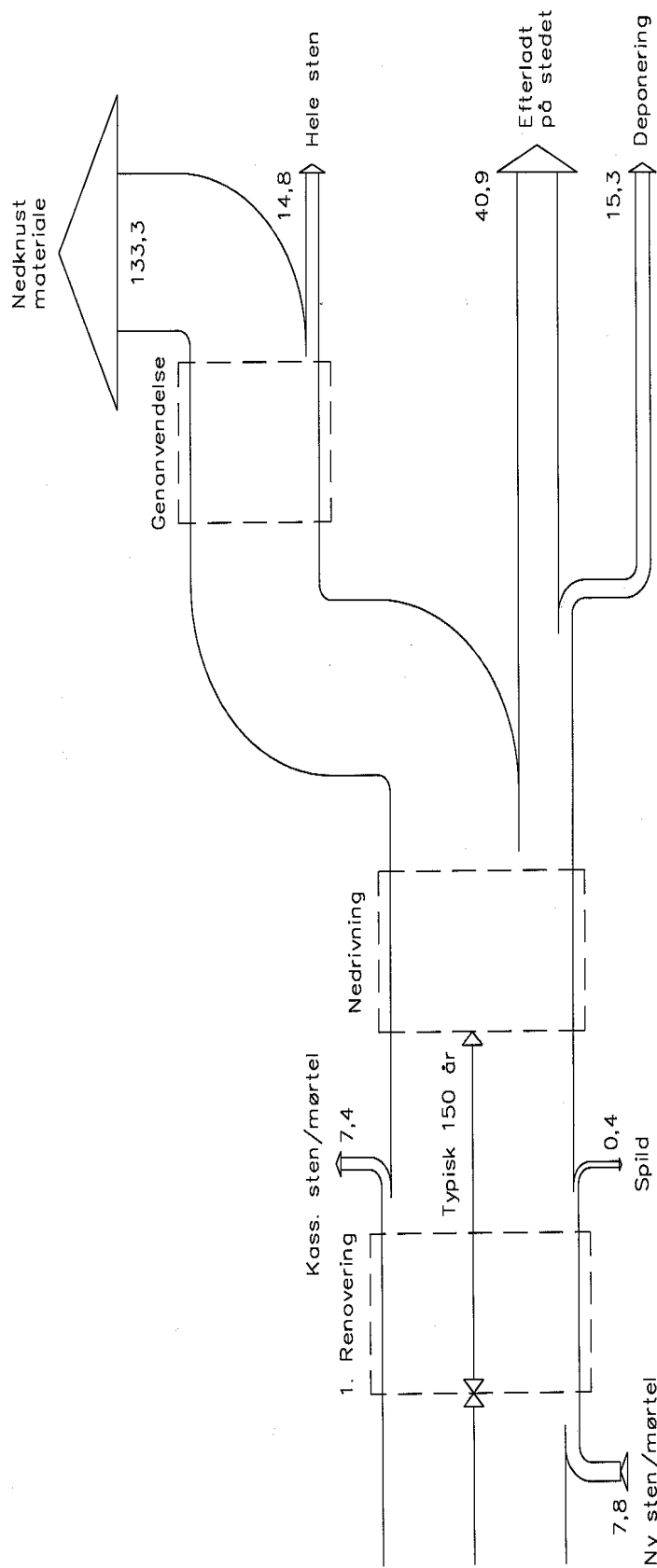
I 1995 blev der i Danmark indvundet ca. 34 mio. m<sup>3</sup> råstoffer. Her af udgjorde tegl- og mørtelbranchens råstofforbrug (ler og sand) ca. 3%.

Materialeforbruget i hele livsforløbet for tegl og mørtel er illustreret i flowdiagrammet i figur 3.7 og 3.8. Kun materialer som indgår i tegl- og mørtelproduktet er medtaget: Emballage, murbindere og lignende indgår ikke. Materialeforbruget er bestemt på grundlag af opgørelserne for de enkelte delmaterialer/faser. Spild i forbindelse med produktion og lignende er ligeledes angivet.

# MURSTEN – MASSESTRØM



Figur 0.7 Flowdiagram for 1 m² murværks livsforløb.



Enhed: kg/m² murværk

Figur 0.8 Flowdiagram for 1 m² murværks livsforløb (fortsat)

For hele livsforløbet er der angivet materialeforbrug ved første renovering. Et kvalificeret skøn for første renovering er efter 40-45 år. Samtidig er den totale levetid for murværket skønnet for værende 60-200 år. Afhængig af levetid for bygningen vil der således være fra 1 til 4 renoveringer i bygningens levetid.

### Arealforbrug

Arealforbruget ved indvinding af delmaterialerne ler, sand og kalk er bestemt. Forbrug af arealer hvorpå produktions-, administrationsbygninger og lignende er beliggende samt deponeringsarealer indgår ikke i opgørelsen.

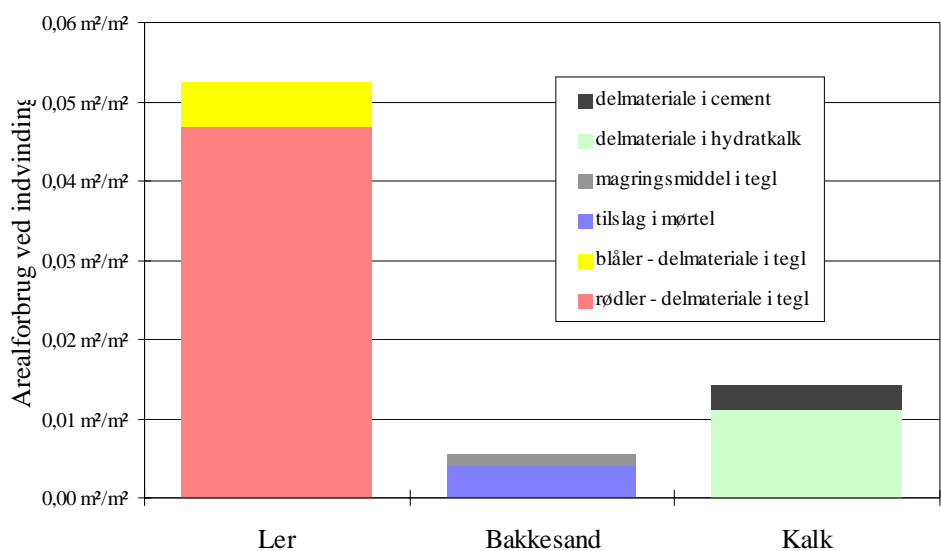
I danske tegl- og mørtelprodukter indgår ler udelukkende i teglprodukter. Der anvendes dobbelt så meget rødler som blåler. Da mægtigheden af rødler er beskeden, er arealforbruget ved indvinding af rødler relativt højt i forhold til arealforbruget ved indvinding af blåler. I figur 3.9 er angivet det vægtede arealforbrug ved indvinding af rødler og blåler.

I 1995 var det totale arealforbrug ved indvinding af rødler og blåler henholdsvis 32 ha og 4 ha (excl. 4 ha rødler og 0,5 ha blåler som er anvendt til eksporterede teglprodukter). Arealer hvorpå der er indvundet rødler kan efter efterbehandling igen anvendes til dyrkningsbrug. Arealer hvorpå der er indvundet blåler efterbehandles typisk til brug som rekreative områder.

Det totale arealforbrug ved indvinding af bakkesand til tegl- og mørtelprodukter udgjorde i 1995 omkring 3 ha. I figur 3.9 er angivet arealforbruget ved indvinding af bakkesand som tilslagsmateriale i mørtel, magringsmiddel i tegl og delmateriale i cement.

Forbrug af areal ved indvinding af kalk anvendt til murværk udgjorde i 1995 omkring 15 ha. Heraf udgjorde arealforbruget ved indvinding af kalk anvendt i hydratkalk og cementfremstillingen henholdsvis 13 ha og 2 ha (Betonprojektet).

Det totale arealforbrug ved fremstilling af tegl og mørtelprodukter udgjorde således godt 55 ha, svarende til ca. 10% af det samlede arealforbrug i Danmark.



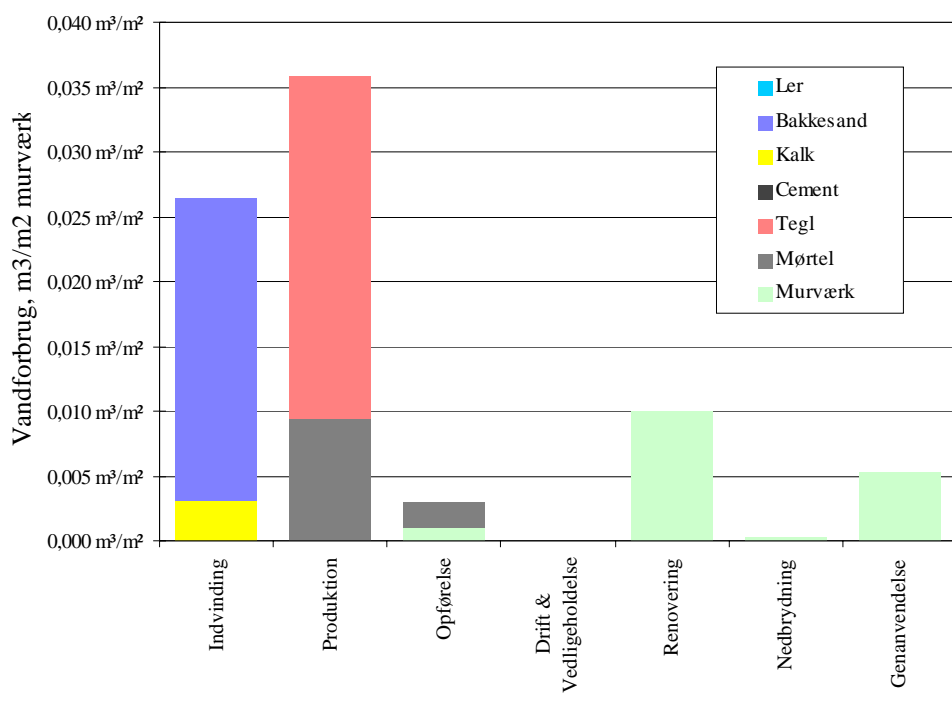
Figur 0.9 Arealforbrug for 1 m<sup>2</sup> murværk fordelt på delmaterialerne ler, bakkesand og kalk.

### Vandforbrug

Der anvendes grundvand i alle faser af tegl- og mørtels livsforløb. Det totale vandforbrug for hele livsforløbet er omkring 375.000 m<sup>3</sup> vand pr. år. Dette svarer til omkring 3.000 husstandes årsforbrug.

I indvindingsfasen er det primært ved vaskning af bakkesand der er et vandforbrug. Ved indvinding af bakkesand anvendes omkring  $0,07 \text{ m}^3/\text{m}^2$  murværk, hvor af ca.  $2/3$  af vandet genanvendes: Forbrug af grundvand reduceres herved til omkring  $0,02 \text{ m}^3/\text{m}^2$  mur.

I teglproduktionen er der et vandforbrug i forbindelse med blødstensproduktionen. På Teglværk 2 opsamles al proces- og overfladevand og recirkuleres i produktionen. På Teglværk 1 undersøges mulighederne for at recirkulere procesvandet. Ved produktion af gule sten beriges procesvandet på sulfat, som kan give misfarvninger på færdigprodukterne.



Figur 0.10 Totalt vandforbrug for  $1 \text{ m}^2$  murværk.

Vand tilsættes mørtel enten i produktionsfasen (vådmørtel) eller på byggepladsen (tørmørtel). Ved vådmørtelproduktion er vandforbruget lidt mindre, idet sandets primære vandindhold (ca. 4 vægt%) reducerer vandforbruget tilsvarende.

På byggepladsen anvendes vand i forbindelse med forvanding af murværk. Under renoveringsarbejder anvendes vand desuden i forbindelse med støvbekæmpelse. Tilsvarende er ligeledes gældende i genanvendelsesfasen.

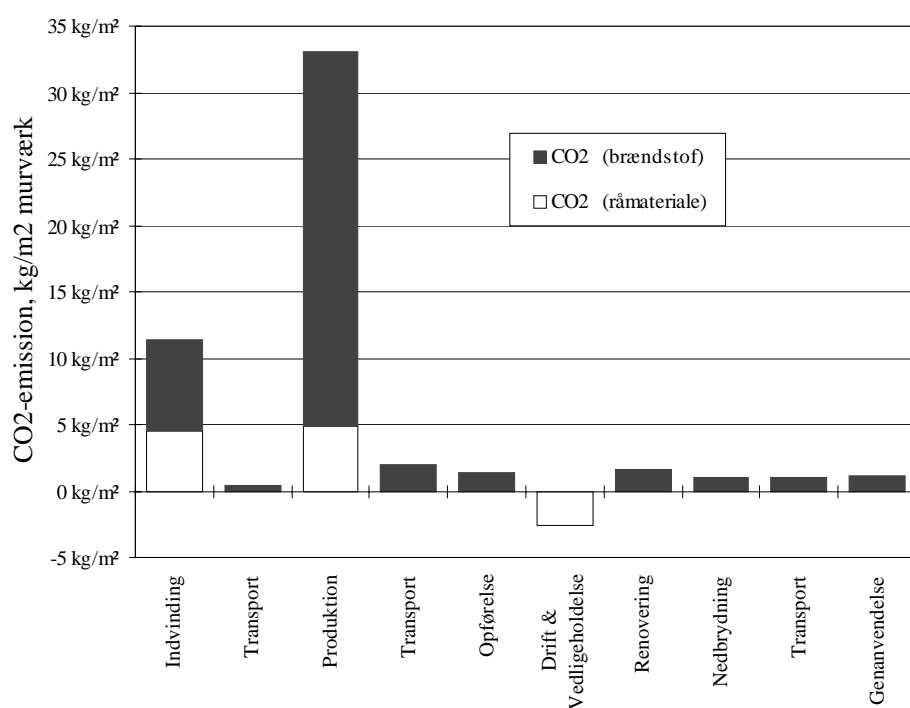
#### 4.4.4 Emissioner til luft

##### CO<sub>2</sub>-emission

I tegl og mørtel livsforløb anvendes fossile brændsler som i forskellig grad afgiver CO<sub>2</sub>. Endvidere indgår der i tegl og mørtelprodukterne delmaterialer som ved brænding frigiver CO<sub>2</sub>. Figur 3.11 illustrerer CO<sub>2</sub>-emissionen i hele livsforløbet. I opgørelsen er anvendt vægtet gennemsnit for indvinding af ler, sand, teglsten og mørtel.

Ved indvinding/produktion af delmaterialer er emissionen relateret til fossile brændsler og råmaterialerne ved cement- og kalkbrændingen. Tilsvarende er gældende ved teglfremstillingen i produktionsfasen. Mængden af CO<sub>2</sub> som frigives fra leret under teglbrændingen afhænger af lerets kalkindhold. Blåler har typisk et kalkindhold på 16-20 vægt% og rødler har et typisk kalkindhold på 0-4 vægt%. Blåler anvendes til fremstilling af gult tegl og rødler til rødt tegl. Ved brænding af råleret vil gult tegl frigive ca. 12 kg CO<sub>2</sub> pr. m<sup>2</sup> mur og rødt tegl ca. 2 kg CO<sub>2</sub> pr. m<sup>2</sup> mur. I figur 3.11 vil dette i produktionsfasen medføre en total CO<sub>2</sub>-emission på 41 kg CO<sub>2</sub> pr. m<sup>2</sup> gult murværk og CO<sub>2</sub>-emission på 31 kg CO<sub>2</sub> pr. m<sup>2</sup> rødt murværk (summen af CO<sub>2</sub>-emission fra brændsel og råmateriale).

I drift og vedligeholdelsesfasen sker der en karbonatisering af hydratkalken og cementen. Der sker således en CO<sub>2</sub>-optagelse under driften svarende til CO<sub>2</sub>-emissionen ved cement og kalkbrænding.



Figur 0.11 Totalt CO<sub>2</sub>-emission for 1 m<sup>2</sup> mureværk indenfor mureværkets 1. leveår. I opgørelsen er anvendt vægtet gennemsnit for indvinding af ler, sand, teglsten og mørtel.

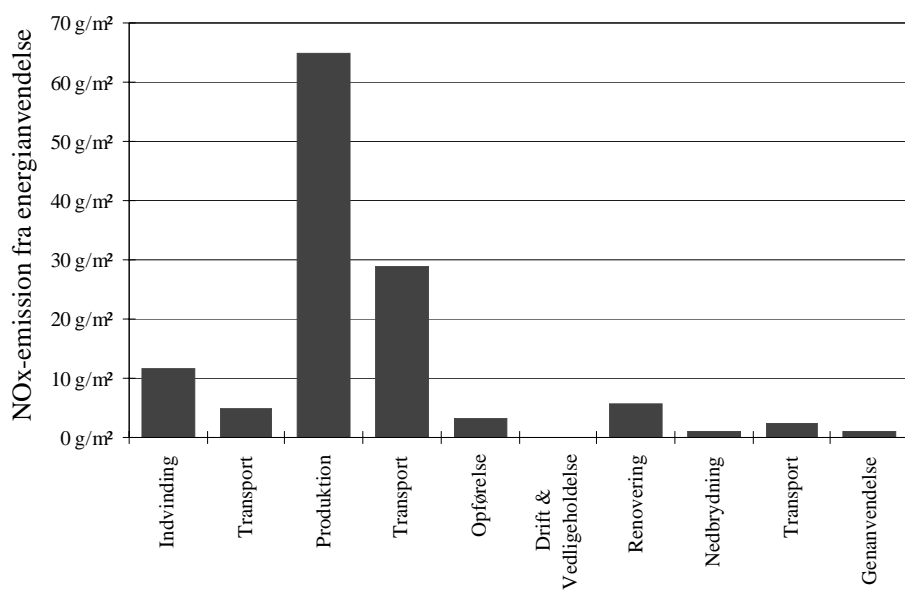
Den totale CO<sub>2</sub>-emission fra energianvendelse i Danmark 59,4 mio tons i 1995. Den totale CO<sub>2</sub>-emission fra energianvendelse i tegl og mørtels livsforløb udgjorde pågældende år 0,25 mio. tons. I tabel 3.3 er emissionerne udspecificeret.

	CO <sub>2</sub> -emission	Tegl og Mørtelbranchens %-vise andel
Total CO <sub>2</sub> -emission i DK ved udvinding af grus, ler, sten, salt m.m. *	0,19 mio. tons	
heraf Tegl- og mørtelbranchens CO <sub>2</sub> -emission	0,035 mio. tons	18%
Total CO <sub>2</sub> -emission i DK i Sten, ler og glasindustri *	1,19 mio. tons	
heraf Tegl- og mørtelbranchens CO <sub>2</sub> -emission	0,18 mio. tons	15%
Total CO <sub>2</sub> -emission i DK ved bygge og anlægsvirksomhed *	0,35 mio. tons	
heraf Tegl- og mørtelbranchens CO <sub>2</sub> -emission	0,018 mio. tons	5%
Total CO <sub>2</sub> -emission i DK ved bygge- og anlægsvirksomhed *	13,5 mio. tons	
heraf Tegl- og mørtelbranchens CO <sub>2</sub> -emission	0,017 mio. tons	1%

Tabel 0.3 CO<sub>2</sub>-emission fra energianvendelse i Danmark (\*Faktisk CO<sub>2</sub>-emission i Danmark, 1995, Energistatistik 1996, Energistyrelsen). Den totale CO<sub>2</sub>-emission fra energianvendelse i Danmark er 59,4 mio tons.

### NO<sub>x</sub>-emission

Opgørelsen for NO<sub>x</sub>-emissioner i tegl og mørtels livsforløb er baseret på emissionsværdier for energianvendelse. Resultatet fremgår af figur 3.12. De betydeligste emissioner sker i produktionsfasen i forbindelse med teglbrænding samt ved transport til byggeplads.



Figur 0.12 NO<sub>x</sub>-emission fra energianvendelse for 1 m<sup>2</sup> murværk.

I 1985-86 blev der på et foretaget målinger af NO<sub>x</sub> i røggassen. Den målte emission (60 mg NO<sub>x</sub>/m<sup>3</sup>) udgør omkring 1/10 af den tyske grænseværdi. Emissionen svarer til ca. 200 mg NO<sub>x</sub>/ kg brændt gods.

Den totale NO<sub>x</sub>-emission for tegl- og mørtelbranchens udgør under 1% af det totale NO<sub>x</sub>-emission fra energianvendelse i Danmark.



Emissioner	Tegl- og mørtelbranchen	Total emission i DK*	% af total
NO <sub>x</sub> -emission	798 tons	272.000 tons	< 1%
SO <sub>2</sub> -emission	726 tons	155.000 tons	< 1%

Tabel 0.4 SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emission fra energianvendelse i Danmark (\*Faktisk emission i Danmark i 1995, Energistatistik 1996, Energistyrelsen).

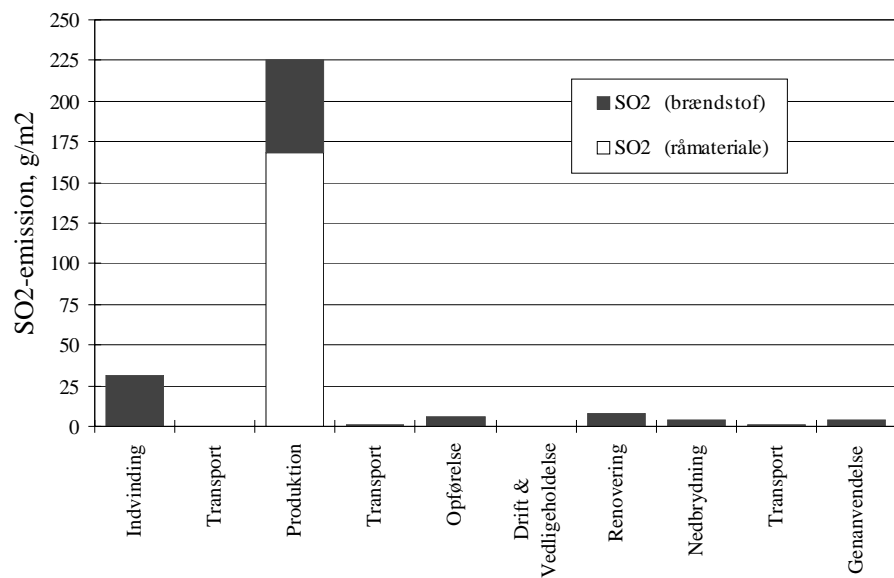
### SO<sub>2</sub>-emission

I tegl og mørtel livsforløb anvendes fossile brændsler som i forskellig grad afgiver SO<sub>2</sub>. Endvidere indgår der i tegl og mørtelprodukterne delmaterialer som ved brænding frigiver SO<sub>2</sub>. Figur 3.13 illustrerer SO<sub>2</sub>-emissionen i hele livsforløbet. I opgørelsen er anvendt vægtet gennemsnit for indvinding af ler, sand, teglsten og mørtel.

Ved indvinding/produktion af delmaterialer er emissionen relateret til energianvendelse ved cement- og kalkbrændingen. I produktionsfasen er der en betydelig SO<sub>2</sub>-emission relateret til frigivelse af SO<sub>2</sub> fra råleret under teglbrændingen. Mængden af SO<sub>2</sub> som frigives fra råleret under teglbrændingen afhænger af lerets indhold svovlforbindelser. Blåler kan have et betydeligt indhold af svovlforbindelser mens rødler typisk har et lavt indhold af svovlforbindelser.

Trods et betydeligt energiforbrug i produktionsfasen er SO<sub>2</sub>-emissionen fra energianvendelsen relativt beskedent. Dette skyldes at naturgas er den primære brændselskilde ved teglfremstilling.

Den totale SO<sub>2</sub>-emission for tegl- og mørtelbranchens udgør under 1% af det totale SO<sub>2</sub>-emission fra energianvendelse i Danmark.



Figur 0.13 Totalt SO<sub>2</sub>-emission for 1 m<sup>2</sup> murværk. I opgørelsen er anvendt vægtet gennemsnit for indvinding af ler, sand, teglsten og mørtel.

### **HF-emission**

I tegl og mørtels livsforløb emitteres flourid i forbindelse med teglbrændingen i produktionsfasen. Flouridemissionen er hidrørende fra råleret naturlige indhold af flourider. Flouridindholdet i råleret er uafhængigt af lertype. Dansk teglværksler indeholder i gennemsnit ca. 0,05 vægt% fluorid med et maximum på 0,08 vægt% og et minimum på 0,03 vægt%. Heraf emitteres 10-90% under brændingen. Hvor meget der emitteres vil bl.a. afhænge af brændingstemperatur, opvarmningshastighed, kalkindhold, godstykkelse og ovnkonstruktion. Fra et teglværks tunnelovn vil der typisk blive emitteret 1 kg fluorid/time.

I forbindelse med teglværkernes ansøgning om miljøgodkendelse pr. 31/12-1999 må det forventes, at værkerne pålægges at rense røggassen for flourid, idet rensningen muliggør overholdelse af luftvejledningens grænseværdi for flouridemission.

To typer renselanlæg er aktuelle:

- Kalkstensanlæg, som bl.a. er udbredte i Tyskland. Her benyttes kalkstensgrus som råvare.
- Hydratkalksanlæg, som er gængse i anden sammenhæng i Danmark og produceres i landet, men sjældent anvendt i teglindustrien.

I renere teknologi sammenhæng er følgende forhold vigtige:

- Forbrugt kalkmængde
- Transportafstand for kalk
- Muligheder for varmegenvinding fra rensset røggas
- Genanvendelse af restprodukt

#### **4.4.5 Emissioner til vand**

For hele tegl og mørtels livsforløb foreligger der kun få målinger af emissioner til vand. I forbindelse med livscyklusanalysen er der foretaget kvalitative/semikvantitative registreringer af emissionstyper. Dog er datagrundlaget beskedent og en egentlig databehandling kan ikke foretages. I nedenstående tabel 3.5 er givet en oversigt over mulige emissionstyper til vand. Kun emissioner til vand i betydende omfang gennemgås:

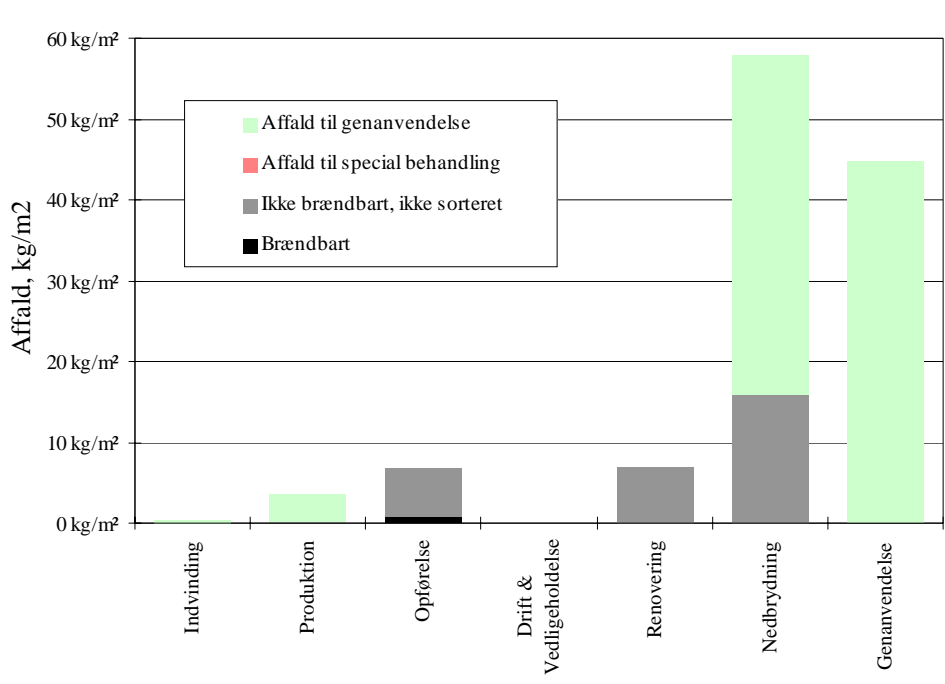
- Ved indvinding af bakkesand er der betydende mængder af lerslam. Slammet udledes typisk i bunden af grusgraven.
- I teglfremstillingen vil der forekomme væsentlige mængder af ler- og teglslam. En stor del af teglslammet er en følge af blødstens-, over-ligger-, petringe- og teglskalproduktionen. Slammet opsamles i bassiner og den del af slammet der ikke genanvendes i produktionen, deponeres i lergravene.
- I forbindelse med facaderensning i renoveringsfasen kan der være en betydelig risiko for emissioner til vand af forskellige kemiske stoffer.
- I hele livscyklusforløbet er der en risiko for spild af olie fra dieseldrevne maskiner, dog skønnes spildet at være begrænset.

Livscyklusfase		Mulige emissionstyper
Indvinding/fremstilling	af bakkesand	lerslam og olie
	af ler	olie
	af kalk	kalkslam og olie
	af cement	cementslam og olie
Produktion	af tegl	teglslam, olie
	af mørtel	kalk-, cementslam, olie
Opførelse	af murværk	saltsyre
Drift & vedligeholdelse	af murværk	algebekæmpelsesmidler
Renovering	af murværk	syrer, baser, flourider
Nedbrydning	af murværk	olie
Genanvendelse	af murværk	olie
Transport		olie

Tabel 0.5 Oversigt over mulige emissionstyper til vand i tegl og mørtels livsforløb.

#### 4.4.6 Affald

Affald i tegl og mørtels livsforløb er opgjort. Oparbejdning af tegl og mørtel i genanvendelsesfasen indgår ikke i opgørelsen af affald (se flowdiagram figur 3.8). Som det fremgår af nedenstående figur er der betydelige affaldsmængder i nedbrydningsfasen. Ved nedbrydning fås ofte 3 materialetyper: en grovfraktion som sendes videre til genanvendelse (ikke medtaget i figuren), en finere fraktion der indgår i jordstrømmen på nedbrydningsstedet (angivet i figuren som affald til genanvendelse) samt en fraktion som ender på deponi (ikke brændbart, ikke sorteret).



Figur 0.14 Affaldsmængder for 1 m² murværk.

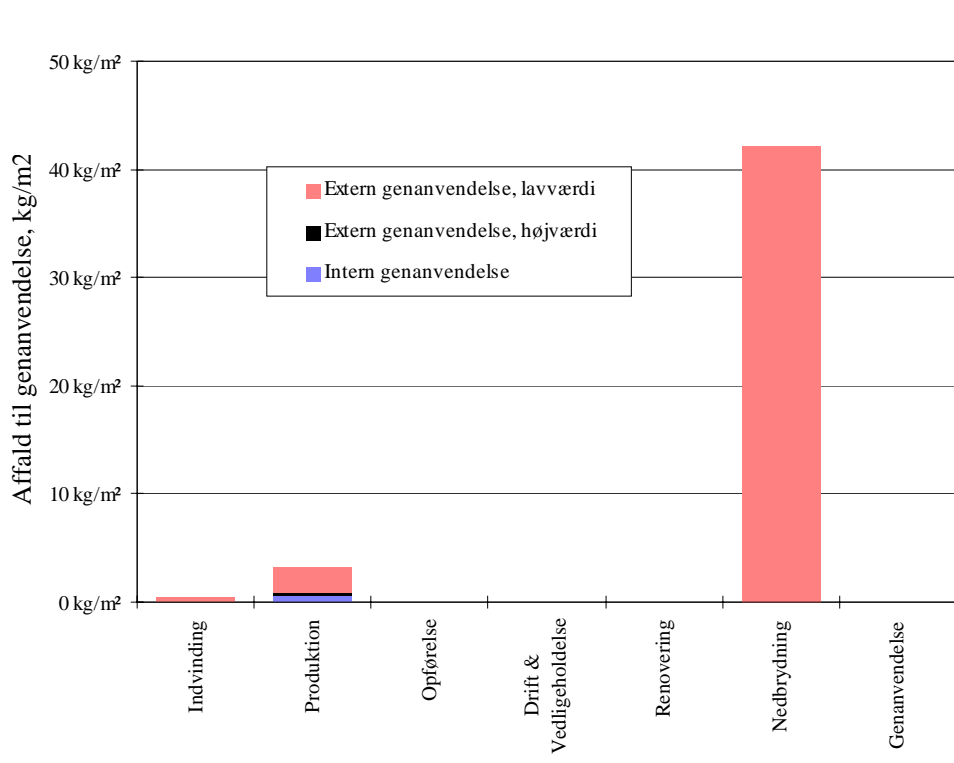
Genanvendelse af affald er opdelt i 3 grupper:

- Intern genanvendelse
- Ekstern genanvendelse, højværdi
- Ekstern genanvendelse, lavværdi

I teglproduktionen knuses fejlproduceret tegl og anvendes som chamotte. Andre anvendelsesmuligheder er tennisgrus (højværdi-genanvendelse) eller fyld på markveje og lignende (lavværdi-genanvendelse). Mængdemæssigt udgør fejlproduktion af tegl mellem 0,5-8 vægt% med et gennemsnit på 2,4 vægt% af den samlede teglproduktion.

I mørtelproduktionen anvendes fejlproduceret mørtel som fyld på markveje o.lign. (lavværdigenanvendelse). Mængdemæssigt udgør fejlproduktion af mørtel mellem 0,1-0,3 vægt% af den samlede mørtelproduktion.

Der er væsentlige problemer med adskillelse af tegl og mørtel på genanvendelsesstationerne (primært betinget af cementholdige mørtler og danske teglsten er vanskelige at adskille), hvorfor næsten al indleveret murværk knuses og genanvendes som fyld.



Figur 0.15 Fordeling af genanvendelsesmuligheder for genanvendt affald.

#### 4.4.7

#### 4.4.8 Arbejdsmiljø

Ifølge delrapporten for fase I og II er antallet af beskæftigede i tegl- og mørtelbranchen fordelt som angivet i tabel 3.6.

	Antal	%
Fremstilling af tegl og kalksandsten	624	5
Fremstilling af mørtel	115	1
Murerarbejde	11.444	90
Facaderensning	150	1
Nedbrydning	400	3
I alt	12.733	100

*Tabel 0.6 Antal beskæftigede i tegl- og mørtelbranchen (kilde: Delrapport fase I og II).*

Det ses, at murerarbejdet i opførelses- og renoveringsfaserne her er helt dominerende.

Videnkilderne til arbejdsmiljøforhold er principielt forskellige. For murerområdet er det p.g.a. det store antal beskæftigede muligt at benytte statistikker, bl.a. over arbejdsulykker.

I faserne med få beskæftigede er kilderne først og fremmest oplysninger indhentet ved kontakt med virksomhederne. Arbejdspladsvurderinger er i en vis udstrækning i gang, men er ikke indgået i dette projekt.

Det er desuden muligt at trække på enkelte større arbejdsmiljøundersøgelser, f.eks. af støv på teglværker (AT Viborg Amt) og af arbejdsmiljøproblemer ved selektiv nedrivning og genanvendelse (Miljøvurdering af det genanvendte hus).

Problemstillingerne og mulighederne for at løse dem afhænger meget af om der er tale om faste arbejdspladser (typisk teglværker) eller midlertidige (typisk facaderens).

I det kemiske arbejdsmiljø indgår relativt få forskellige stoffer. Organiske opløsningsmidler er med enkelte undtagelser således ikke relevante. Til gengæld kan der være forskellige støvproblemer. Da kvarts er en hovedbestanddel af både tegl og mørtel, skal risikoen for eksponering for respirabelt bedømmes i alle livscyklusfaser. Kvarts findes i råmaterialerne først og fremmest som grov sandfraktion.

På denne basis kan der gives en oversigt over registrerede arbejdsmiljøproblemer fordelt på livscyklusfaser og virksomhedstyper.

- *Indvinding af råvarer*  
Relativt få beskæftigede, enkelte anmeldte arbejdsulykker. Der kan være støv- og støjproblemer.

- *Teglværker*

Der kan være støvproblemer, særligt ved bestemte typer tilberedningsudstyr som valseværker eller knusere til chamotte.

Farlige stoffer er respirabelt kvartsstøv bariumcarbonat, bariumchlorid og manganoxider. For bariumforbindelser og manganoxid kræver præcis og støvfri dosering, både af hensyn til arbejdsmiljø og teglkvalitet. Manganoxiders virkning i arbejdsmiljøet vurderes i øjeblikket i et projekt på Arbejdsmiljøinstituttet.

Tunge løft - typisk ved sætning og aflæsning af ovnsvogne - er i stor udstrækning automatiseret delvis efter krav fra Arbejdstilsynet. I stedet er der opstået arbejdspladser præget af en vis monotomi ved pasning af f.eks. netop sætte- og aflæsemaskiner.

Automatisering og mekanisering medfører en del støj som er meget varierende fra værk til værk, afhængigt af bl.a. maskintempo og mulighederne for at isolere det mest støjende udstyr.

De indsamlede oplysninger om arbejdsulykker på teglværker tillader ikke egentlige konklusioner p.g.a. små tal.

- *Mørtelværker*

Ved tørmørtelproduktion som egentlig er en doserings- og blandeproces kan der være støv- og støjproblemer.

- *Opførelse og reovering, murerarbejde*

I lighed med andre fagområder foreligger der for murerområdet pålidelige statistiske undersøgelser (afsnit 7.1, delrapport fase III). Ergonomiske problemer er dominerende, fulgt af høreskader og luftvejsproblemer.

Det vurderes, at det ligger uden for dette projekts rammer at tage stilling til de åbenbart omfattende problemer m.h.t. ergonomi og ulykker på hele bygge- og anlægsområdet. Derfor ses der her på de arbejdsmiljøproblemer der direkte kan relateres til de materialer der anvendes i denne branche.

Kvarts giver p.g.a. de normalt våde eller fugtige materialer næppe problemer i opmuringssfasen. Men der skal tages hensyn til efterfølgende håndværkere, f.eks. elektrikere der senere borer i de tørre tegl- og mørtelmaterialer.

Bindemidlerne i mørtel (hydratkalk og cement) er klassificeret som ætsende eller lokalirriterende. Der er ikke registreret problemer i denne sammenhæng. Eksempelproblemer der skyldes chromatinhold i cement synes at være løst med chromatneutralisering af de vigtigste cementtyper. MUC har ikke set eksempler på, at ikke chromatneutraliserede importerede cementer har været anvendt til mørtler.

Der er heller ikke registreret arbejdsmiljøproblemer i forbindelse med den relativt store mængde saltsyre der anvendes til afsyring af nyopført murværk.

I forbindelse med vinterbyggeri anvendes frysepunktssænkende midler i mørtel. I øjeblikket accepteres blandt opløsningsmidler kun denatureret sprit af Arbejdstilsynet. Andre muligheder har været isopropanol samt calciumchlorid der senere kan forårsage alvorlige skader på murværket.

- *Drift*

I mindst 2 tilfælde anvendes biologisk aktive stoffer med giftvirkning i forbindelse med murværk: ved algefjernelse og bekæmpelse af murbier. Meget taler for at sådanne stoffer kan undgås ved hensigtsmæssig udførelse og renovering af murværk.

Til forebyggelse og fjernelse af graffiti anvendes en del forskellige kemiske stoffer. Der kendes ingen nærmere undersøgelse af konsekvenser for arbejdsmiljøet.

- *Facaderensning*

Her anvendes metoder og midler der kan give alvorlige arbejdsmiljøproblemer. Blæsemetoder kan give store støvmængder. Den største mængde forskellige kemiske midler i tegl- og mørtelbranchen findes her, det drejer sig om syrer, baser, fluorider, tensider, kompleksdannere m.m. For arbejdsmiljøet gælder det samme som for kvaliteten af arbejdet i denne branche at viden, kompetence og en kvalitetsbevidst indstilling er afgørende for et godt resultat.

- *Nedrivning*

Studier af arbejdsforholdene i forbindelse med nedrivningsarbejder fastslår, at nedrivningsarbejderne udsættes for en række væsentlige belastninger. Særligt bør støvproblemer, ergonomiske forhold og ulykker betragtes med største alvor. Der arbejdes allerede i dag på at forbedre arbejdsbetingelserne, men der er fortsat mange uløste arbejdsmiljøproblemer i nedrivningsfasen.

- *Genanvendelse*

Undersøgelser af arbejdsmiljøforholdene i forbindelse med genanvendelse af tegl og mørtel afslører ikke væsentlige arbejdsmiljøproblemer. Af størst betydning vurderes at være problemer med støv, støj og ensidigt gentaget arbejde.

## 5 Forslag til handlingsplaner

Forslag til handlingsplaner ved produktion af tegl og mørtelprodukter er opbygget som et katalog, hvor der er opført en række renere teknologiløsninger. Kataloget kan således betragtes som et idékatalog til inspiration for den enkelte virksomhed, for myndighederne og for branchen som helhed. Forslagene tager sigte på realistiske handlingsplaner for renere teknologier ved produktion af tegl- og mørtelprodukter.

Branchen og dens virksomheder kan anvende kataloget i forbindelse med:

- Indførelse af energistyring/miljøstyring
- Kvalitetsstyring
- Løsning af arbejdsmiljøproblemer
- Miljøgodkendelser og anden myndighedskontakt
- Krav fra kunder eller projekterende om dokumentation for anvendelse af renere teknologi

I forbindelse med miljøgodkendelserne af virksomheder kan myndighederne anvende kataloget som retnings-/forslagsgivende for hvilke konkrete indsatser, som kan påkræves ved miljøgodkendelsen af virksomheden. Projektets resultater giver samtidig myndighederne indblik i:

- Hvilke miljøbelastninger branchen er ansvarlige for
- Hvilke muligheder virksomhederne har for at gennemføre renere teknologier
- Hvilke renere teknologi indsatser der løser miljøproblemer
- Hvilke indsatser, der har det største potentiale med hensyn til løsning af miljøproblemer
- Hvilken tidshorisont der må forventes for gennemførelsen af en given indsats

Valget af renere teknologi-løsninger er baseret på resultaterne fra livscyklusvurderingen (fase III) samt miljøgennemgangen af udvalgte virksomheder. De udvalgte virksomheder kan betegnes som miljømæssigt velfungerende, hvilket afspejles i forslag til handlingsplanerne, idet allerede gennemførte renere teknologier på disse virksomheder også indgår i forslagene.

Kataloget skal samtidig betragtes som en dynamisk "størrelse", hvor nye teknologier, ny viden og adfærdsregulerende myndighedstiltag kan påvirke mulighederne for renere teknologier. Det anbefales derfor, med gennemførte livscyklus som basis, at revurdere miljøpåvirkningerne løbende.

### 5.1 Strukturen i et forslag

Strukturen i et forslag til handlingsplan er opbygget på en sådan måde at det skal være muligt for den enkelte virksomhed, for myndigheder og for branchen at opnå et overblik over forventede konsekvenser af potentielle indsatser.

I forslagene indgår:



- Vurdering af problemets omfang belyst på grundlag af dokumentationen i delrapport III, samt hvilke miljøparametre der skal påvirkes.
- Vurdering af forventede konsekvenser af potentielle indsatser. Både med hensyn til påvirkning af direkte miljøparametre og indirekte miljøparametre (konsekvenser i de senere livscyklusfaser, bl.a. for arbejdsmiljø, genanvendelsesmuligheder, transport).
- Vurdering af hvilke løsninger der vil være praktisk mulige og under hvilke forhold disse løsninger er relevante, samt en anbefaling af enkelte renere teknologier.
- Vurdering af hvilke undersøgelser/forsøg, der bør gennemføres før potentialet i et forslag kan vurderes.
- Vurdering af hvilke renere teknologier der løser miljøproblemer og som principielt er de bedste metoder, men samtidig kan kræve mere tid, udvikling etc.
- Oplysning om hvilke myndighedskrav der kan opfyldes ved anvendelse af den enkelte renere teknologi-løsning.

## **5.2 Væsentlige miljøpåvirkninger**

I projektets fase III (livscyklusvurdering) er de væsentligste miljøpåvirkninger på tegl- og mørtelværker, der bør påvirkes, identificeret som følger:

### **5.2.1 Teglværker**

- Energiforbrug:
  - Energiforbrug, tørring
  - Energiforbrug, brænding
- Ressourceforbrug:
  - Forbrugt/afledt vandmængde
  - Forbrug af primær råstoffer - ler og sand
- Emissioner til luft:
  - CO<sub>2</sub>, F, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i røggas
- Affald:
  - Brækagen på tørret og brændt gods
- Arbejdsmiljø
  - Støj
  - Støv
  - Håndtering af manganoxid/bariumforbindelser

I kapitel 5 gennemgås handlingsplaner i relation til nævnte miljøpåvirkninger. Kapitel 5 er underopdelt efter nævnte miljøpåvirkninger og i hvert afsnit er miljøpåvirkning indledningsvis kort kvantificeret/kvalificeret på grundlag af livscyklusvurderinger foretaget i projektets fase III.

### **5.2.2**

### **5.2.3 Mørtelværker**

Livscyklusvurderingen i fase III har vist at selve produktionsprocessen for våd- og tørmørtel ikke medfører væsentlige miljøpåvirkninger. Dette gælder under forudsætning af, at den kalk der anvendes, udelukkende er læsket brændt kalk baseret på traditionelle kalkstensprodukter. Mørtelproduktionen består fortrinsvis af doserings- og blandeprocesser. Livscyklusvurderingen viser, at de energi- og råvarekrævende processer ligger i udvinding og fremstilling af delmaterialerne: Kalk, cement og sand.

### **5.2.4 Hele livscyklusforløbet**

Projektet omfatter udelukkende forslag til handlingsplaner i produktionsfasen. Livscyklusvurderingen har belyst andre indsatsområder hvor en påvirkning af miljøparametrene ville medføre en nedbringelse af tegl- og mørtels miljøpåvirkning:

- Udvinning af sand til tegl- og mørtelproduktion, herunder energiforbrug og vandforbrug i grusgrave.
- Arbejdsmiljø i hele livsforløbet, dog med en vægtning af faserne opførelse, nedbrydning og genanvendelse.
- Miljørigtig projektering: Brancheorienteret vejledning med henblik på projektering og udførelse.

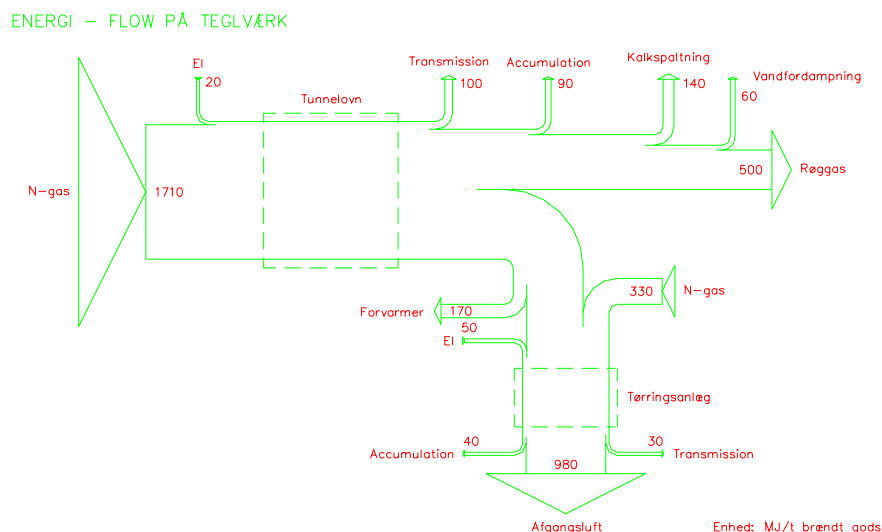


# 6 Renere teknologi-løsninger på teglværker

## 6.1 Energiforbrug

I tegl og mørtels livsforløb udgør det samlede energiforbrug omkring 550 MJ/m<sup>2</sup> murværk. Heraf udgør energiforbruget ved fremstilling af tegl ca. 70% (delrapport fase III, figur 13.1). Teglbranchens samlede energiforbrug er 2.800 TJ/år (1995-tal), svarende til knap 2% af det samlede energiforbrug i produktionserhvervene i Danmark.

Energiforbruget ved teglfremstilling fordeles med omkring 10% til lertilberedning og efterbehandling, 45% til tørring og 45% til brænding. Figur 5.1 viser en typisk energifordeling på tørringsanlæg og ovn på et dansk teglværk. Der udledes overskudsenergi fra ovnen via røggassen og fra tørringsanlægget med afkastluften.



Figur 0.1 Energiflow ved produktion af teglmursten. Diagrammet er baseret på en gennemmåling foretaget på et teglværk i 1992 udført af Murværkscentret.

Det betydelige energiforbrug gør det relevant at fokusere på mulighederne for energibesparelser eller bedre energiudnyttelser ved tørring og brænding.

Følgende muligheder er behandlet:

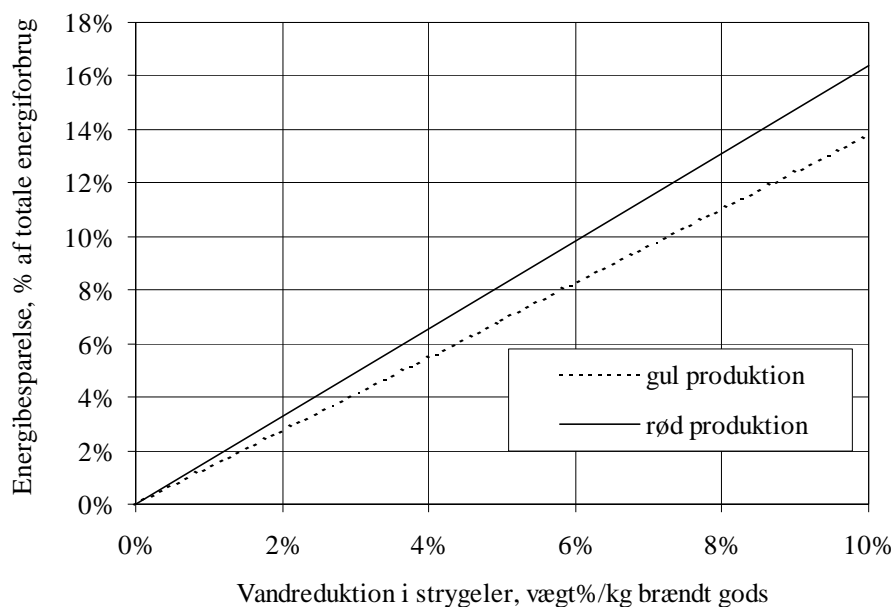
#### **Tørring:**

- Nedsættelse af vandmængden i strygeleret
- Nedsættelse af det specifikke energiforbrug ved ændringer af driftsforhold på tørringsanlæg
- Nedsættelse af det specifikke energiforbrug ved ændringer af tørringsanlæg
- Udnyttelse af energiindhold i afkastluft
- Anvendelse af industriel kraftvarme (cogeneration)
- Anvendelse af microbølger
- Anvendelse af air-less drying
- Forbedring af teglets rå styrke

#### **Brænding:**

- Nedsættelse af det specifikke energiforbrug ved ændringer af driftsforhold på ovnen
- Nedsættelse af det specifikke energiforbrug ved ændringer af ovn
- Udnyttelse af energiindhold i røggas
- Nedsættelse af brækagen

### **6.1.1 Nedsættelse af vandmængden i strygeleret**



Figur 0.2 Teoretisk fremstilling af energibesparelse ved vandreduktion i strygeler.

En mulighed hvorpå energiforbruget kan nedbringes, er ved nedsættelse af vandmængden i strygeleret.

I tørringsanlægget forbruges energien til fjernelse af vand. Jo højere vandindhold den nystrøgne sten har, jo større energimængder kræves. Teoretisk vil en mindre mængde vand, der skal borttørres pr. kg brændt gods, medføre en reduktion i energiforbruget. En vandreduktion i strygeleret på 1 procentpoint vil således resultere i en energibesparelse på knap 2% af det totale energiforbrug.

På årsbasis vil det for hele branchen medføre en energibesparelse på 55.000 GJ (1995-tal). En teoretisk beregning på sammenhæng mellem det totale energiforbrug ved teglproduktion og vand borttørret i tørringsanlæg fremgår af figur 5.2. Beregningsforudsætninger fremgår af tabel 5.1.

Forudsætninger		
Energiforbrug i tørringsanlæg		
Varme bortført med afgangsluft		3.500 kJ/kg fordampet vand
Samlet energiforbrug		4.000 kJ/kg fordampet vand
Energiforbrug i ovn (inkl. forvarmer)		
gul produktion		1360 kJ/kg brændt gods
rød produktion		960 kJ/kg brændt gods
Samlet energiforbrug		
	gul produktion	rød produktion
20% borttørret vand/kg brændt gods	2.185 kJ/kg brændt gods	1.786 kJ/kg brændt gods
25% borttørret vand/kg brændt gods	2.380 kJ/kg brændt gods	1.960 kJ/kg brændt gods
30% borttørret vand/kg brændt gods	2.535 kJ/kg brændt gods	2.135 kJ/kg brændt gods

Tabel 0.1 Forudsætninger for beregning af energibesparelse ved vandreduktion i strygeler (figur 5.2).

### 6.1.1.1 Tilsætningsstoffer

Til anvendelse i tegl markedsføres tilsætningsstoffer, der angives at forbedre strygelerets plastiske egenskaber. Den samme plasticitet kan derved opnås med et mindre vandindhold. Endvidere angives, at sådanne tilsætningsstoffer kan øge teglmaterialets råstyrke, hvorved tab p.g.a. revner mindskes.

Tilsætningsstoffer kan f.eks. være lignosulfonater eller cellulosederivater.

Der foreligger ikke tilstrækkelige undersøgelser til, at det kan vurderes hvorvidt sådanne positive virkninger kan opnås i dansk teglværksler. Enkelte undersøgelser med 2 tilsætningsstoffer viser at der ikke blev opnået forbedringer af råstyrken [1]. Dette kan skyldes at dansk ler i forvejen er så plastisk og har så god råstyrke, at forbedringer i praksis ikke er realistiske. Ler i andre lande - f.eks. Sverige og Norge - kan være betydeligt mindre plastisk.

Nogle tilsætningsstoffer vil øge vands viscositet, dvs. gøre det mere tykflydende. Dette kan medføre øget tids- og energiforbrug ved tørringen.

I denne sammenhæng vurderes det, at anvendelse af sådanne tilsætningsstoffer ikke er aktuelle for normalt dansk teglværksler.

### Anbefaling

Det anbefales, at undersøge tilsætningsstoffers effekt på formgivning og tørringsforløb for eventuel anvendelse.

#### 6.1.1.2 Opvarmning af strygeler

Plasticiteten af en lerblanding øges, når temperaturen øges. Desuden forbedres den struktur stenen opnår under strygningen. Det er normalt at udnytte dette på danske teglværker, det sker fortrinsvis ved tilsætning af damp til strygeleret. Der skal så anvendes mindre energi i selve tørringsanlægget til opvarmning af stenene der, under forudsætning af at de ikke køles inden indsætningen. Principielt vil en varmere lerblanding kunne stryges med et mindre vandindhold end en koldere.

Dog vil anvendelse af damp i sig selv medføre tilsætning af yderligere vand. Andre opvarmningsmetoder som direkte gasbrændere og infrarød bestråling må formodes at have større energiforbrug eller mindre effektivitet.

### Anbefaling

Undersøgelse af hvordan opvarmning af strygeler foretages energimæssigt mest effektivt anbefales.

#### 6.1.1.3 Optimering af kornstørrelsesfordeling i strygeler

En måde hvorpå vandindholdet i strygeleret kan tænkes nedbragt, er ved en tættere pakning af kornene og dermed færre vandfyldte hulrum. Potentialet for nedbringelse af vandindholdet i strygeleret synes at være tilstede, hvilket fremgår af data fra energiundersøgelserne fra 1996 og 1997 (tabel 5.2) [2].

Vægt% af tørret vægt	Blødstrøgne sten			Maskin sten (celle og massiv sten)		
	rød	rød/gul	gul	rød	rød/gul	gul
Antal målinger	38	13	11	31	-	19
Gennemsnit	26,8	24,3	23,7	19,3	-	19,4
Max.	34,0	28,0	26,7	29,3	-	22,9
Min.	18,0	18,7	19,1	15,6	-	17,0

Tabel 0.2 Vægt% borttørret vand. Værdierne er baseret på oplysninger fra energiundersøgelsen 1996-1997 og bør betragtes som vejledende.

Der ses en tydelig forskel på mængde borttørret vand på blødstrøgne sten og maskinsten. Fra blødstrøgne sten borttørres gennemsnitligt mellem 24-27 vægt% vand, mens der fra maskinsten borttørres omkring 19 vægt% vand. Denne forskel er produktionsteknisk betinget, og det er ikke en realistisk målsætning at nedbringe vandindholdet på blødstrøgne sten svarende til niveauet på maskinsten.

For blødstrøgne sten antydes et større vandbehov i rødbrændende strygeler end i gulbrændende strygeler. Endvidere ses store udsving på vandindholdet, som kan være betinget af forskelle i lerets mineralogiske sammensætning. Men for nogle værker kan forventes mulighed for nedsættelse af vandindholdet på strygeleret.

Ved en tættere pakning af kornene i strygeleret kan der, foruden nedsættelse af vandindholdet i strygeleret og dermed mindre energiforbrug til tørring, principielt opnås en andre fordele:

- Man kan undgå for store koncentrationer af korn i ensartet størrelse og dermed risiko for gennemløbende revner, specielt i forbindelse med kølerevner i rødbrændende sten. Herved kan spildprocenten på brændte sten mindskes.
- En tættere pakning vil give bedre kornunderstøtning og dermed det brændte teglmateriale større styrke.
- Mulighed for optimering af kornstørrelsesfordelingen bør være et af de væsentlige aspekter ved valg af råmaterialer (ler og sand) og dermed også ved den igangværende/kommende råstofplanlægning i amterne.

### **Anbefaling**

Til nedsættelse af energiforbruget i tørringsanlæg anbefales en reduktion af vandindholdet i strygeleret.

Denne løsning forventes især relevant i forbindelse med blødstensproduktion. Foruden besparelse på vand- og energiforbrug kan der i forbindelse med produktion af røde blødstrøgne sten forventes, at spildprocenten mindskes og styrken øges på brændte teglmaterialer.

Et projekt "Optimering af kornstørrelsesfordeling i lerblanding anvendt til tegl", skal bl.a. kortlægge sammenhænge mellem kornstørrelsesfordeling og vandindhold. Projektet udføres af DTI-Murværkscentret og støttes af Teglintustriens forsknings- og uddannelsesfond. Projektet løbetid er 1½ år og forventes at danne grundlag for et storskalaforsøg.

Det anbefales, at afvente nævnte projekts resultater.

## **6.1.2 Nedsættelse af det specifikke energiforbrug på tørringsanlæg**

### **6.1.2.1 Ændringer af driftsforhold**

Det specifikke energiforbrug til tørring (normalt opgivet i kJ/kg fordampet vand) afhænger af en række driftsforhold. Vigtigst er tilstanden af tilgangs- og afgangsluft, samt den samlede luftmængde.

Generelt kan det siges, at høj temperatur i tilgangsluft og høj temperatur og luftfugtighed i afgangsluft giver et lavt specifikt energiforbrug.

Teorien for dette er velkendt i teglintustrien. At den tilførte energi ikke altid kan udnyttes optimalt skyldes primært variationer i produktionsforhold: stentyper, produktionsrytme, godsmængde i henholdsvis tørringsanlæg og ovnens kølezone.

### **Anbefaling**

Det anbefales, at ændringer i driftsforhold sker på basis af en systematisk gennemgang af tørringsforhold, inkl. energi.

### **6.1.2.2 Ændringer af eksisterende tørringsanlæg**

På de eksisterende tørringsanlæg kan det være muligt at nedsætte det specifikke energiforbrug ved forskellige ændringer.

I nogle kammertørringsanlæg er tørringshastigheden meget ujævn p.g.a. luftens strømningsforhold. Det giver dels et unødigt langt tørringsforløb med deraf følgende højere energiforbrug, dels risiko for revner. Dette forhold kan i visse tilfælde forbedres ved ændring af placering af tilgang og afgang, eller ved montering af kraftigere cirkulationsventilatorer. Det sidste vil give et øget energiforbrug. Elforbruget til cirkulationsventilatorer i tørringsanlæg er i forvejen højt.



Principielt vil montering af direkte gasbrændere i tørrekamre eller i tunneltørrer kunne give et mindre specifikt energiforbrug end ved placering i tilgangskanalen. Erfaringer fra enkelte værker viser, at en mindskelse på 15% er mulig. Den optimale udnyttelse sker ved at benytte køleluft fra ovnen i tørringens første faser, hvor temperaturen er relativ lav og hvor luftbehovet er stort, samt supplere med ekstra direkte indfyret energi i tørringens sidste faser, hvor temperaturen er relativ høj og luftbehovet lille. Placering af brændere i kamrene kræver mange små individuelt styrede brændere og er derfor dyrere end placering af en enkelt eller få brændere i tilgangskanalen.

Mulighederne for at forbedre det specifikke energiforbrug varierer meget fra værk til værk afhængigt af stenformater, konstruktion af tørringsanlæg, produktionsrytmer m.m.

#### **Anbefaling**

Det anbefales, at ændringer af tørringsanlæg sker på basis af en systematisk gennemgang af tørringsforhold, inkl. energi.

### **6.1.3 Energiindhold i afkastluft**

En meget stor del af et teglværks energiforbrug forlader værket i form af fugtig luft fra tørringsanlægget. Denne lufts tilstand er typisk 30-40°C og 60-80 % RH. Måling af denne tilstand samt tilgangsluftens tilstand giver en nem og præcis angivelse af tørringsanlæggets effektivitet, og viser således om der driftsmæssigt bør foretages optimeringer.

Tilstanden vil oftest variere i ugens løb, først og fremmest når der ikke produceres sten i weekenderne. Der vil derfor være perioder, hvor stenene er næsten tørre og der ikke fordampes meget vand, mens kølezonen i ovnen stadig leverer normal varmemængde. I en sådan periode kan energien ikke udnyttes effektivt.

P.g.a. den relativt lave temperatur og det høje fugtindhold er det vanskeligt umiddelbart at udnytte energiindholdet i afkastluften. Generelle projekter med udnyttelse af energiindholdet i sådanne lufttyper er under forberedelse. Det antages at man her vil basere sig på kondensations- og varmepumpeprincipper. Der vil altså principielt være mulighed for genvinding af både energi og vand.

Hvorvidt udnyttelse af afkastluftens energi er relevant for teglværker vil afhænge af, om det er muligt at anvende energien internt i værkernes produktion - her kræves høj lufttemperatur - eller eksternt, f.eks. i eksisterende lokale fjernvarmesystemer. Økonomiske forhold, herunder afgiftsmæssige, vil i sidste ende formentlig være afgørende for en evt. udnyttelse.

#### **Anbefaling**

Det anbefales, at afvente resultaterne af projekterne omkring energiudnyttelse af lufttyper med lav temperatur og højt fugtindhold.

### **6.1.4**

## **6.1.5 Anvendelse af anden energikilde**

### **6.1.5.1 Industriel kraftvarme**

Normalt vil køleluft fra tunnelovnen levere hovedparten af et tørringsanlægs energibehov. Der skal dog normalt suppleres med ekstra indfyret energi for dels at have tilstrækkelig energi til fordampning af den aktuelle vandmængde og dels for at have en tilstrækkelig høj tilgangstemperatur.

Denne energi leveres normalt af en enkelt N-gas eller F-gasbrænder i tilgangskanalen. Det er muligt at erstatte en sådan brænder f.eks. med en gasmotor, der dels via en generator producerer el, dels leverer den ekstra energi til tørringsanlægget i form af røggas og varm luft eller vand fra diverse kølere og varmevekslere.

Systemet er beskrevet for forskellige industrielle anvendelser, herunder teglproduktion [3],[4]. Det er beregnet, at systemet giver den bedste samfundsøkonomiske virkning af de forskellige mulige måder at reducere CO<sub>2</sub>-udslip på [4] og at det ved udnyttelse i dansk industri kan bidrage med en femtedel af det erklærede mål i reduktion af CO<sub>2</sub>-udslip for Danmark.

Et anlæg er monteret på et enkelt dansk teglværk. Anlægget har en total virkningsgrad på 94-95% fordelt med en elvirkningsgrad på 40%, varmeevirkningsgrad fra røggas på 50% og en varmeevirkningsgrad på 4-5% fra motorvarme. Efter 1 års drift er tilbagebetalingstiden beregnet til 2,6 år. Det er nærmere beskrevet i informationsmaterialet "Direkte tørring med naturgasfyret kraftvarme" [5]. Driftsmæssig har man på teglværket været meget tilfredse med anlægget.

#### **Anbefaling**

Der foreligger i dag så god dokumentation, at det anbefales, at foretage en konkret undersøgelse af hvilke besparelsesmuligheder det enkelte værk kan opnå. I den sammenhæng bør tørringsforløbet ligeledes vurderes, herunder energiforbruget.

### **6.1.5.2 Microbølger**

Et afgørende problem ved tørring af tegl med varm luft er, at opvarmningen af de våde sten udelukkende sker fra ydersiden. For at undgå revner må den hastighed, hvormed vandet fjernes fra stenens overflade, ikke overstige den hastighed, hvormed vandet transporteres fra stenens indre til overfladen. Den sidste hastighed stiger med stigende temperatur, idet vands viscositet falder med stigende temperatur.

Ved anvendelse af microbølger opvarmes vandet ensartet i hele stenen, og det er derfor principielt muligt at øge tørringshastigheden uden at fremkalde revner.

Et system hvor microbølger kombineres med normal lufttørring er beskrevet i [6], men der mangler praktiske erfaringer. En lang række forhold skal afklares, før systemet kan fungere i praksis: kan det indbygges i eksisterende anlæg, energieffektivitet, miljøforhold. Der skal anvendes el-energi som miljømæssigt er dyrt, her var der dog mulighed for at kombinere med industriel kraftvarme.

En alternativ mulighed må være anvendelse af microbølger til opvarmning af strygeler. Her anvendes som før nævnt normalt damp, hvilket giver øget vandindhold.

Microbølger kunne eventuelt anvendes efter at de nystrøgne sten er sat på lægter, men inden de går i tørringsanlæg. I så fald kunne der ske en forkortelse af den første fase af tørringen.

Eventuel anvendelse af microbølger har stor indflydelse på arbejdsmiljøet og arbejdstilsynet skal rådføres.

Tryg-Baltica har undersøgt mulighederne for anvendelse af microbølger i anden sammenhæng (udtørring af bygningsdele) [7], hvor udformning af microbølgeområdet blev undersøgt.

#### **Anbefaling**

Det anbefales, at afvente resultater af eventuelle testkørsler i tilsvarende systemer, da der endnu ikke er opnået den fornødne praktiske erfaring hverken med hensyn til udformning af microbølgeområde eller håndtering af arbejdsmiljø. I den sammenhæng bør tørringsforløbet ligeledes vurderes, herunder energiforbruget.

### **6.1.5.3 Airless drying**

I England er der udviklet en tørringsmetode baseret på tørring med overhedet damp. Princippet er beskrevet i [8]. Systemet vil energiøkonomisk være en fordel under forudsætning af, at en vis mængde spildvarme fra anlægget kan udnyttes andetsteds.

I Danmark anvendes systemet i en keramisk produktion, der meget ligner teglproduktion, men hvor vandmængden der skal borttørres, er betydeligt højere, og hvor brændingstemperaturen og densiteten af det færdige produkt er lavere. Det betyder, at køleluften fra tunnelovnene er helt utilstrækkelig til tørringen. En fordel ved systemet er, at tørringen foregår ved meget høj temperatur og vandet derfor bevæger sig meget hurtigt mod overfladen. Erfaringerne viser da også, at revnerisikoen nedsættes meget betydeligt.

#### **Anbefaling**

Det anbefales, at foretage en undersøgelse af systemet som er i drift i Danmark og på baggrund heraf foretage en vurdering af, hvilke muligheder der er for anvendelse af airless drying i teglproduktionen. I den sammenhæng bør tørringsforløbet ligeledes vurderes, herunder energiforbruget.

### **6.1.6 Nedsættelse af det specifikke energiforbrug på ovn**

#### **6.1.6.1 Ændringer af driftsforhold**

Det specifikke energiforbrug til brænding (normalt opgivet i kJ/kg brændt gods) afhænger af, hvor hensigtsmæssigt brændingsforløbet er, herunder hvilke muligheder der er for at styre temperatur og luftstrømme i ovns forskellige zoner og tværsnit.

Væsentlige parametre kan være relativ høj indgangstemperatur på godset, god temperaturfordeling i opvarmningszonen, lav lufttilførsel i brænderzonen og lav temperatur på udgående gods.

Generelt kan det siges, at lave røggasmængder indikerer et lavt specifikt energiforbrug.

### **Anbefaling**

Det anbefales, at ændringer i driftsforhold sker på basis af en systematisk gennemgang af ovn, inkl. brændingskurve og energi.

#### **6.1.6.2 Ændringer af eksisterende ovn**

På de eksisterende ovne kan det være muligt at nedsætte det specifikke energiforbrug ved forskellige ændringer. En umiddelbar forbedring er at mindske mængden af falskluft. Falskluftindtaget sker typisk ved utætheder ved sandrender, vognstød og ovnsporte. Mere omkostningskrævende ændringer er brug af højhastighedsbrændere.

Brug af højhastighedsbrændere i opvarmningszonen giver et øget specifikt energiforbrug, men kan samtidig forbedre brændingsforløbet og muligvis mindske energiforbruget i brænderzonen. Brugen af disse brændere kan samtidig reducere trykforskelle i opvarmningszonen og dermed mindske falskluftindtaget i opvarmningszonen.

Brug af forvarmer eventuelt med energitilførsel af genvundet energi fra produktionen kan også forbedre det specifikke energiforbrug.

Mulighederne for at forbedre det specifikke energiforbrug varierer meget fra værk til værk afhængigt af stenformater, brændertyper, konstruktion af ovn m.m.

### **Anbefaling**

Det anbefales, at ændringer sker på basis af en systematisk gennemgang af ovn, inkl. energi.

#### **6.1.7 Energiindhold i røggas**

Røggassen udledes med en temperatur omkring 150°C. Den indeholder en del aggressive stoffer og røggasrensning er derfor påkrævet, før eventuel energi-genanvendelse er mulig. Røggasrensning omtales i afsnit 5.3.1.

For at genvinde varmen i røggassen er der en del krav til røggassens tilstand, som skal være opfyldt for, at det er muligt at genvinde varmen, herunder røggassens temperatur og sammensætning (vand- og svovlsyreindhold).

Varmegenvinding i forbindelse med røggasrensning kan nedbringe teglværkets samlede energiforbrug under forudsætning af, at den genvundne varme kan anvendes i den øvrige produktion. Der kan være flere muligheder for genanvendelse:

- Opvarmning af primærluft til brændere (ovn og tørreri) samt forbrændingsluft for kedelanlæg
- Brugsvand- og rumopvarmning
- Varmeforbrug til forvarmer/tørringsanlæg
- Opvarmning af tilgangsluft til tørringsanlæg

Forudsætningen herfor er, at den genvundne varme erstatter primære energiforbrug og ikke overskudsvarme, eks. køleluft fra ovnen

Ekstern genanvendelse af genvunden energi er også en mulighed, som kan undersøges ved en aktuel vurdering.

For yderligere information henvises til rapporten "Varmegenvinding i f.m. røggasrensning" [9].

Under forudsætning af, at varmegenvinding er mulig, opstår der en række miljømæssige følgevirkninger. Der oparbejdes et restprodukt fra røggasrensningen, som skal deponeres på kontrolleret losseplads. Genanvendelse af restproduktet i andre industrier kræver, at der er tilstrækkelige mængder, homogent og fri for/meget lavt chloridindhold. Problemstillingen uddybes under afsnit 5.3.1 og afsnit 5.4.2.

En anden mulighed er at genanvende restproduktet i teglindustrien. Denne mulighed er uddybet i afsnit 5.4.2.

### **Anbefaling**

Det anbefales, at varmegenvinding af røggas sker på grundlag af en samlet vurdering af energiforholdene i hele produktionen, undersøgelse af røggassens temperatur og sammensætning samt en vurdering af restproduktets mængde og sammensætning i relation til en livscyklusvurdering af bortskaffelses-/genanvendelsesmuligheder.

### **6.1.8 Nedsættelse af brækagen**

Nedsættelse af brækagen ved tørring og brænding kan i denne sammenhæng også betragtes som en bedre energiudnyttelse, idet den medfører et mindre specifikt energiforbrug for uskadt gods.

Forbedring af styrken på rå og brændt gods afhænger af mulighederne for optimering af kornstørrelsesfordeling på strygeret samt af et hensigtsmæssigt tørrings- og brændingsforløb. For uddybning henvises bl.a. til afsnit 5.4.3.

## **6.2 Ressourceforbrug**

De primære materialer, som forbruges til teglfremstilling, er ler og sand. Både ler og sand er uundværlige delmaterialer i tegl og mulighederne for at nedsætte forbruget af ler og sand ved anvendelse af restprodukter fra andre industrier fremgår af kataloget "Anvendelse af alternative materialer i tegl- og mørtelprodukter".

Vand forbruges i fremstillingsprocessen og anbefaling af recirkulering af procesvand indgår i forslag til handlingsplaner.

Andre materialer som bør nævnes er bariumforbindelser og manganoxid. Mængdemæssigt udgør disse materiale kun en meget lille andel af det samlede materialeforbrug. Men med hensyn til renere teknologi er disse materialer væsentlige i forbindelse med arbejdsmiljø. I afsnit 5.5 anbefales doseringsmetoder, der som sekundær gevinst medfører nedsættelse af materialeforbruget.

### **6.2.1 Nedsættelse af vandforbrug**

For 1 m<sup>2</sup> murværks livsforløb er der i livscyklusvurderingen (delrapport fase III) påvist et vandforbrug på 0,08 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

Vandet forbruges primært i indvindingsfasen (32%) og produktionsfasen (44%). I indvindingsfasen forbruges 0,023 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> mur til vaskning af sand. 25% af sandet anvendes i tegl, mens de resterende 75% anvendes i mørtelproduktionen. I produktionsfasen anvendes 0,036 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> mur, hvoraf 0,026 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> anvendes i teglproduktionen. Det resterende anvendes i mørtelproduktionen.

Vandforbruget relateret til teglproduktionen (indvinding og produktion) udgør således  $0,032 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , svarende til 40% af det samlede vandforbrug i tegl og mørtels livsforløb.

I teglproduktionen anvendes  $180.000 \text{ m}^3$  vand pr. år. På teglværk 1 fordeles vandforbruget med 17% på lerforarbejdning, 39% på blødstrygeren, 17% på vakuumpumpen og 28% på stensave. Anvendes denne fordeling på hele teglbranchen fås følgende forbrug i teglproduktionen:

Lerforarbejdning	$30.000 \text{ m}^3/\text{år}$
Blødstryger	$70.000 \text{ m}^3/\text{år}$
Vakuumpumpe	$30.000 \text{ m}^3/\text{år}$
Stensav	$50.000 \text{ m}^3/\text{år}$

De betydeligste mængder vand forbruges således ved blødstrygeren og ved stensaven.

På grundlag af branchens samlede produktionsmængder og en skønnet gennemsnitlig produktion af blødstrøgne sten pr. time på omkring 10.000 stk., forbruges der  $3-5 \text{ m}^3$  vand/time ved blødstrygeren. Vandet, der forbruges ved blødstrygeren, optages kun i stærkt begrænset mængde i lerblandingen. Typisk udledes procesvandet til fældningsbassiner.

Ved brug af en lerblandning med lavt sulfatindhold er muligheden for recirkulering af procesvandet relativt uproblematisk. Procesvandet vil ikke beriges på sulfat med deraf følgende risiko for misfarvning på teglprodukterne. Anvendes lerblandinger med højt sulfatindhold (typisk gulbrændende ler), bør sulfat fjernes fra procesvandet før det genanvendes.

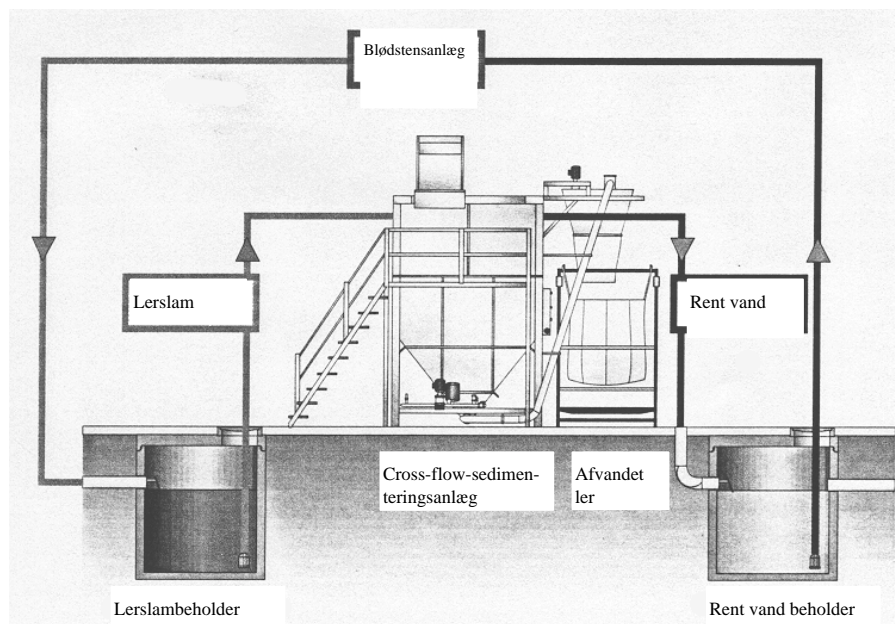
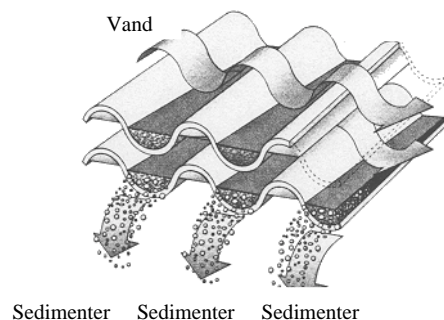
Procesvandet ved blødstrygeren vil indeholde en del lerslam. Dette slam skal bundfældes før recirkulering af procesvandet. Bundfældningen kan ske efter forskellige principper. På teglværk 2 udledes al procesvand til slambassiner. Herfra recirkuleres procesvandet tilbage til produktionen. Forudsætningen for denne model er, at den anvendte lerblandning har et lavt sulfat-indhold.

En anden mulighed er anvendelse af cross flow sedimentering. Dette anlæg udbydes af Dywidag, Holland. I Holland anvendes dette anlæg på omkring 10 teglværker. Vandforbruget på disse værker er omkring  $60 \text{ m}^3/\text{time}$ . Vandtabet på anlægget er ca. 10% og producerer omkring  $2 \text{ m}^3$  lerslam pr. time. Lerslammet har et vandindhold på ca. 60%. Prisen for dette anlæg er ca. 750.000 kr.

Dywidag er interesseret i at fremstille et anlæg tilpasset det danske marked, hvor vandforbruget er væsentlig mindre ( $3-5 \text{ m}^3/\text{timen}$ ). Flere danske teglværker samt Murværkscentret har kontakt med Dywidag. P.t. er aftalen, at der skal gennemføres et storskalaforsøg på et dansk teglværk.

En principskitse er vist i figur 5.3.

Umiddelbart er der to problemstillinger ved brug af et cross flow sedimenteringsanlæg. Dansk ler er meget fed og der kan være risiko for, at leret pakker omkring lamellerne. Sulfatindholdet kan være højt og det skal fjernes, før procesvandet kan genanvendes. En polyelektrolyt kan fjerne sulfat fra procesvandet. Endvidere vil prisen på anlægget også have en afgørende rolle. Foreløbige undersøgelser på Teglværk 1 har vist, at der skal anvendes forskellige polyelektrolytter på henholdsvis rødler og blåler.



Figur 0.3 Principskitse af et cross flow sedimenteringsanlæg.

Det vil være relativt uproblematisk at recirkulere vandet som forbruges ved stensavene. Det fint formalede teglmateriale, som er opslemmet i vandet, kan bundfældes relativt hurtigt og vandet kan derefter recirkuleres ved stensaven. Teglslammet vil kunne genanvendes i teglproduktionen.

### Anbefaling

Som renere teknologi-løsning anbefales recirkulering af procesvand ved blødstrygeren og ved stensaven.

Både ved blødstrygeren og stensaven kan procesvandet recirkuleres enten i et lukket system tilhørende procesenheden eller indgå i åbent system, hvor al procesvand blandes.

Hvis al procesvand indgår i et åbent system, enten i et cross flow sedimenteringsanlæg eller i slambassiner, skal man være opmærksom på en eventuel berigelse af sulfat.

Ved det lukkede system kan vandudskilleren være et cross flow sedimenteringsanlæg. Ved stensaven og i produktionen, når der anvendes sulfatfattig ler, vil der ikke være en sulfatberigelse af procesvandet og anvendelse af polyelektrolyt vil ikke være nødvendig.

Det anbefales, at afvente en prøvekørsel af cross flow sedimenteringsanlægget. Dels for at kunne vurdere anlæggets effektivitet og driftsikkerhed og dels for at kunne vurdere de økonomiske omkostninger ved anvendelsen af nævnte anlæg.

Et økonomisk væsentligt mere attraktivt alternativ til cross flow sedimenteringsanlægget er at holde leret i suspension og recirkulere slammet direkte til proceslinjen.

### 6.3 Emissioner til luft

Som det fremgår af projektets fase III emitteres der CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> og HF i forbindelse med brænding af tegl. Derudover kan der forekomme chlorider i røggassen, især hvor det anvendte råler er Yoldialer eller hvor der anvendes bariumchlorid til neutralisering af sulfat i råleret.

I forbindelse med ansøgninger om miljøgodkendelse må det forventes, at alle egentlige danske teglværker pålægges at rense røggassen for fluorid, så kravene i luftvejledningen overholdes.

I luftvejledningen er der fastsat følgende emissionsgrænser for HF:

- Massestrøm : 50 g/h
- Emissionsgrænse : 5 mg/Nm<sup>3</sup>

Luftvejledningen fastslår, at emissionsgrænserne for NO<sub>x</sub> og SO<sub>2</sub> ikke bør gælde for bl.a. teglværksovne.

Ved en eventuel rensning for øvrige komponenter i røggassen skal det overvejes, hvilke miljømæssige konsekvenser en øget produktion af røggasrensningsrestprodukt vil få. Der skal således ske en vurdering af miljøbelastningen ved en eventuel deponering af restproduktet i forhold til en skærpet røggasrensning. Emissionen af SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> og NO<sub>x</sub> fra tegl- og mørtelbranchen er samtidig beskeden; mindre end 1% af de totale emissioner fra energianvendelse i Danmark (delrapport fase III, tabel 13.3).

#### 6.3.1 Røggasrensning på tunnelovne

Røggasrensning er i sig selv ikke nogen renere teknologi-løsning. Den kræver investeringer i maskinelt udstyr og derefter et kontinuert forbrug af kalkprodukter og energi. Desuden frembringes kontinuert et restprodukt der enten skal deponeres eller om muligt genanvendes. Faktisk er der foretaget analyser (Ökobilanz) i forbindelse med stramning af grænseværdier i Tyskland [10]. Her holdes de problemer der løses ved bedre rensning op imod den øgede miljøbelastning (kalk, energi, deponering, m.m.).

Årsagen til kravene i den danske luftvejledning vedr. fluorid er ifølge Miljøstyrelsen primært mulighederne for skader, dels direkte på plantevækst, dels på græssende kvæg via fluoridindhold på eller i det plantemateriale der indtages [11]. I øjeblikket foretages i Storbritannien og Irland undersøgelser af, om sådanne skader kan undgås på andre måder end ved røggasrensning.

Som nævnt er røggasrensning i sig selv ikke en renere teknologi-løsning. Men rensningsprocessen kan være kombineret med eller indeholde renere teknologielementer.

I en rapport for Energistyrelsen [9] er 2 relevante rensningsmetoder sammenlignet:

- Kalkstensanlæg hvoraf mange i forvejen er i drift på teglværker især i Tyskland. Det hidtil eneste rensningsanlæg på danske teglværker er af denne type.



- Hydratkalksanlæg hvoraf kun få er i drift på teglværker, men som er almindelig på f.eks. affaldsforbrændingsanlæg i Danmark. Anlægstypen fremstilles i Danmark.

Set i en renere teknologisammenhæng er følgende betragtninger væsentlige:

- Kalkstensanlæg renser effektivt for fluorid men mindre effektivt for f.eks. SO<sub>2</sub>. Det giver en røggas der stadig er vanskelig at udnytte i en varmeveksler p.g.a. korrosionsproblemer. Til gengæld vil restproduktet formentlig være lettere at udnytte, da det ikke indeholder så mange forskellige komponenter.
- Hydratkalksanlæg vil udover fluorid også rense effektivt for SO<sub>2</sub>. Røggassens energi vil således lettere kunne udnyttes i en varmeveksler. Til gengæld vil restproduktet indeholde flere komponenter og formentlig være vanskeligere at udnytte.

Der er i princippet enkelte andre muligheder for røggasrensning integreret i processen:

- Placering af et kalkmateriale (CaCO<sub>3</sub> eller Ca(OH)<sub>2</sub>) på vognene. Forsøg har vist, at et sådant materiale optager store mængder fluorid og SO<sub>2</sub>. Der skal i givet fald opsættes en form for filtre som ovnatmosfæren skal passere. Effektivitet og råvareforbrug er ikke afklaret.
- Indblanding af kalk i lerblandingerne. Efter kalkspaltningen vil fluorid reagere med kalken og danne det mere temperaturstabile CaF<sub>2</sub>. Metoden oplyses anvendt i Schweiz og Østrig, men kan kun i undtagelsestilfælde være aktuel i Danmark. Kalkindholdet er i forvejen højt i gult og rose tegl, og findes også i en vis udstrækning som stabiliserende element i rødt. Yderligere tilsætning vil ændre teglets farve. Kalkspaltningen vil desuden kræve yderligere energi og dermed have en negativ miljøvirkning.

### **Anbefaling**

På basis af den øjeblikkelige viden på området kan følgende handlingsplaner foreslås:

- Forsøg med hydratkalksanlæg og røggasvarmeveksling, evt. som foreslået i rapport til Energistyrelsen [9].
- Undersøgelse af muligheder for genanvendelse af restprodukter, dels fra ovennævnte forsøg, dels fra eksisterende kalkstensanlæg. Mulighederne kan dels ligge i teglbranchen selv (afsnit 5.4.2), dels i andre brancher, f.eks. cementproduktion.
- Minimering af chloridindhold i lerblandinger. Erfaringerne viser, at chlorid vanskeliggør drift af røggasrensningsanlæg. Dels nedsætter det effektiviteten, dels akkumuleres det i anlægget og bliver alligevel delvis frigjort i røggassen. Chloridindhold i restproduktet vil vanskeliggøre genanvendelse, f.eks. i cement. Chlorid stammer fra råmaterialer, specielt Yoldia-ler, og fra bariumchlorid anvendt til sulfatneutralisering.
- En vurdering af alle miljømæssige konsekvenser af de forskellige former for røggasrensning: Opnåelige miljøforbedringer, energiforbrug inkl. transport af kalk, råmaterialer, problemer og muligheder med restprodukter, energigenvinding m.m.

## 6.5 Affald

Mængden af affald ved teglproduktion er relativt beskedent i forhold til mængderne i genanvendelsesfasen (delrapport III, figur 13.11). Affaldet består overvejende af brændt gods. Nedsættelse af brækagen vil dog være en renere teknologi-løsning, idet den vil medføre et mindre specifikt energiforbrug pr. ton uskadt gods.

Derudover produceres der ler- og teglslam, som ved genanvendelse kan reducere branchens forbrug af primære ressourcer med ca. 1%. Ifølge brancheundersøgelsen for 1995 forbruger teglbranchen omkring 800.000 m<sup>3</sup> ler pr. år (iflg. Skov- og Naturstyrelsen var forbruget af teglværksler omkring 720.000 m<sup>3</sup> i 1995).

Inden for de kommende år kan forventes at fremkomme et nyt affaldsprodukt - restproduktet i forbindelse med røggasrensning. Mulighederne for at afhænde restproduktet til andet end deponering afhænger bl.a. af hvilken rensning, der anvendes ved røggasrensningen. Anvendelsesmulighederne af dette røggasrensningsprodukt er uddybet i katalog: "Kriterier for anvendelse af alternative materialer i tegl- og mørtelprodukter".

### 6.5.1 Metoder til opsamling og genanvendelse af slam på teglværker

Mængden af ler- og teglslam er ikke opgjort i livscyklusvurderingen (fase III). På teglværk 1 produceres omkring 350 m<sup>3</sup> ler- og teglslam pr. år. På teglværk 2 produceres omkring 250 m<sup>3</sup> ler- og teglslam pr. år. På brancheplan vil dette give en produktion på 6.000 m<sup>3</sup> ler- og teglslam pr. år.

P.t. opsamles slammet i opsamlingsbassiner. Slammet består af lerslam fra blødstensproduktionen og teglslam fra stensav. Slammet har et højt vandindhold, omkring 50-70 vægt%. Dette vand kan være beriget på sulfat (typisk ved gulbrændende produktion) og af hensyn til risiko for misfarvninger på de brændte sten kan slammet ikke umiddelbart returneres til proceslinjen.

Hvor risikoen for højt sulfatindhold er minimal kan lerslammet umiddelbart returneres via en opsamlingsbeholder med omrøringsmotor til proceslinjen. Ved recirkulering skal man være opmærksom på det lave tørstofindhold. Ved højt sulfatindhold bør der ske en neutralisering af denne før returnering til proceslinjen. Foretages neutraliseringen efter returnering kan dosering af bariumforbindelser være vanskeligere at styre.

Omkostningerne forbundet med fjernelse af slammet varierer meget - fra omkring 200 kr/m<sup>3</sup> til 1.000 kr./m<sup>3</sup> afhængig af bortskaffelsesmetoden. Den billigste metode er ved deponering i lergrav. Den dyreste metode er ved slamsugning.

#### Anbefaling

Som renere teknologi-løsning anbefales en recirkulering af ler- og teglslam. Løsningen kan kobles med recirkulering af procesvand.

Ved lavt sulfatindhold kan lerslam returneres umiddelbart til proceslinjen, ved højt sulfatindhold bør der foretages en neutralisering før genanvendelse. Teglslam kan genanvendes uden forbehandling.

### 6.5.2

### **6.5.3 Fremstilling af bagmursten med højt indhold af restprodukter**

Den primære årsag er den forudsætte mængde restprodukter fra fluoridrensning på danske teglværker. Den årlige mængde kan beregnes til ca. 2.500 t. Sammensætningen vil afhænge af rensemetode og røggassammensætning, men hovedkomponenterne vil være calciumcarbonat, calciumfluorid, calciumsulfat, calciumsulfit og calciumchlorid.

I litteraturen nævnes mulighederne for at anvende dette restprodukt i teglfremstilling. Gør man det må det være afgørende at brændingstemperaturen er relativ lav ellers vil fluoridet blot blive emitteret endnu en gang. Teglets styrke må p.g.a. temperaturen formodes at blive relativ lav, og p.g.a. restproduktets indhold af sulfat og chlorid kan misfarvninger næppe undgås.

Skal et sådant teglmateriale fremstilles, kan det være relevant at se på anvendelse af andre restprodukter, evt. også dem der ellers ikke kan anvendes i normalt dansk facadetegl. En mulig ny egenskab ved et sådant materiale kunne være høj isoleringsevne, opnået med restprodukter med organisk indhold, som dels giver porøsitet, dels energi i brændingsprocessen (se endvidere katalog om alternative materialer).

Det er selvfølgelig væsentligt, at et sådant materiale kan afsættes og anvendes. Der må være tale om et indermursmateriale. Det vil være nødvendigt med vurderinger af markedspotentialet og de konstruktionsmæssige muligheder.

Produktionsteknisk kan det tænkes at producere materialet i perioder på eksisterende teglværker. En anden mulighed er at indrette specielle produktionsanlæg hvor der tages specielle hensyn til de miljøproblemer der kan være forbundet med restprodukter (jvf. f.eks. katalog om alternative materialer afsnit 3.14 vedrørende havneslam).

#### **Anbefaling**

Det anbefales, at afvente resultaterne af de under afsnit 5.3.1 anbefalede handlingsplaner. Under forudsætning af, at resultaterne af disse undersøgelser peger på fremstilling af bagmursten med højt indhold af restprodukter som en mulig løsning, skal der foretages en vurdering af markedspotentialet, konstruktionsmæssige mulige samt produktionstekniske forhold, herunder ikke mindst miljøforhold.

### **6.5.4 Nedsættelse af brækagen**

I projektets fase I-III er fejlproduceret brændt tegl opgjort. Mængdemæssigt udgør fejlproduktion af brændt tegl mellem 0,5-8 vægt% med et gennemsnit på omkring 2,4 vægt% af den samlede teglproduktion. Fejlproduceret halvfabrikata (tørret sten) er ikke opgjort.

Nedsættelse af brækagen afhænger af et hensigtsmæssigt tørrings- og brændingsforløb og kan muligvis forstærkes af optimering af kornstørrelsesfordelingen på strygeleret.

Teorien bag et optimalt tørrings- og brændingsforløb er kendt i teglindustrien.

Hvorvidt det er muligt at optimere kornstørrelsesfordelingen i strygeleret på en sådan måde at brækagen mindskes er endnu ikke kendt. Teorien bag er som følger:

Når der er store koncentrationer af korn i ensartet størrelse vil der være stor risiko for gennemløbende revner - når revnen prograderer ind i stenen, vil der ikke være en stopklods. Risikoen for gennemløbende revner er størst i rødbrændende sten, hvilket er betinget af forskelle i faseændringer på gulbrændende og rødbrændende teglmaterialer under brændingen. I gult tegl ændres den oprindelige tekstur under brændingen radikalt, hvorimod den overordnede tekstur i rødt tegl stort set er uændret. Derfor kan der i rødt tegl forventes en sammenhæng mellem strygelerets kornstørrelsesfordeling og færdigvarekvalitet.

Mørtler og betonprodukter optimeres bl.a. ved anvendelse af tilslagsmaterialer med en velgraderet kornkurve og da texturen på rødt tegl og mørtler/beton har fællestræk, er det nærliggende at optimere rødt tegl ved anvendelse af strygeler med en velgraderet kornkurve. Tilsvarende sammenhæng på gult tegl kan ikke drages.

En velgraderet kornkurve vil endvidere medføre en bedre kornunderstøtning - der vil være flere kontaktflader mellem kornene. I rødt tegl sker sintringen primært i kontaktfladerne mellem kornene. Jo større kontaktarealet er, jo større vil sintringsarealet blive. Styrken kan derfor øges og brækagen mindskes.

### **Anbefaling**

Det anbefales, på grundlag af en systematisk gennemgang af tørrings- og brændingsforløb, at optimere tørrings- og brændingsforløbet. Derudover anbefales det, at afvente resultaterne af projektet vedrørende optimering af kornstørrelsesfordelinger i strygeler.

## **6.6 Arbejdsmiljø**

En væsentlig miljøpåvirkning på nogle teglværker er støj. Problemet er størst på værker, hvor store dele af processen sker i én hal. Problemet kan være vanskeligt at reducere. Erfaringer viser at det kan være en langsommelig proces, netop fordi støj i haller er vanskelig at isolere. Det ene deltagende teglværk har haft problemet, men har ved en systematisk kildedæmpning opnået et tilfredsstillende resultat.

Korrekt håndtering af manganoxid og bariumforbindelser i teglproduktionen er påkrævet af hensyn til arbejdsmiljø. Miljøgennemgangen af virksomhederne har vist en RT-løsning som både er enkel og økonomisk og desuden giver en nøjagtig og effektiv dosering.

### **6.6.1 Doseringsmetode for manganoxid**

Ved tilsætning af manganoxid kræves præcis og støvfri dosering, både af hensyn til arbejdsmiljø og tegl kvalitet. I tegl anvendes manganoxid som farvestof til brune sten (delrapport fase III, afsnit 5.6.1).

I Danmark udgør produktionen af brune teglmursten omkring 2% af den samlede produktion af teglmursten. I teglbranchen forbruges omkring 260 tons manganoxid pr år (iflg. brancheundersøgelsen, delrapport I & II), svarende til et indhold af manganoxid i brune teglmursten på 3,4 vægt%.

Der foreligger måleresultater for manganindholdet på et teglværk. Målingen er foretaget i 1982 og viste et manganindhold på 0,3-0,4 mg Mn/m<sup>3</sup> (delrapport fase III, afsnit 6.1.1). Med den varslede grænseværdi for mangan kan der forventes en overskridelse. Manganoxiders virkning i arbejdsmiljøet vurderes i øjeblikket i et projekt på Arbejdsmiljøinstituttet.

Der findes flere typer manganoxid på markedet med forskellige manganindhold og forskellige kornstørrelsesfordelinger. Produktionen af manganoxid foregår bl.a. i Kina, Marokko og Norge:

- MnO<sub>2</sub>                      brunsten                      63% Mn (mangan)  
    pyrolusit
- Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>                      braunit                      70% Mn
- Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>                      hausmanit                      72% Mn

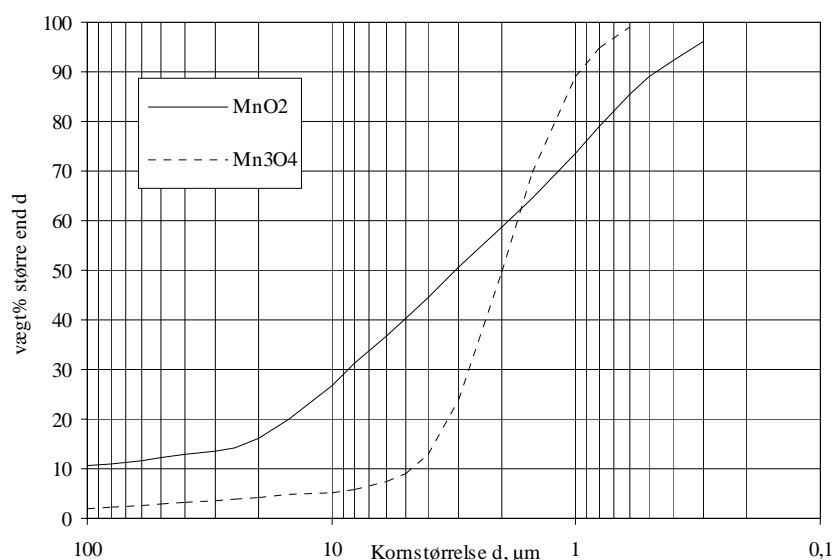
Derudover skal man være opmærksom på, at manganindholdet vil være endnu mindre på grund af indhold af andre stoffer. En del kan have relativt store jernoxidindhold.

Brunsten, MnO<sub>2</sub> kan være direkte fremstillet ved formaling af manganmalm og kan være relativt groft.

Hausmanit, Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> kan være et styret restprodukt fra fremstilling af metallisk mangan og er relativt finkornet.

Vægt%	Fraktion > 125 µm	> 20 µm	1,25-20 µm	< 1,25 µm
Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	1,0	5,5	74,0	20,5
MnO <sub>2</sub>	0,5	16,5	52,5	31,0

Tabel 0.3 Kornstørrelsesfordeling for 2 typer manganoxid.



Figur 0.4 Kornstørrelsesfordeling for fraktionen < 125 µm for to typer manganoxid, MnO<sub>2</sub> og Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

I brancheundersøgelsen (delrapport I & II) er det ikke opgjort, hvilke typer manganoxid der anvendes. Erfaringer fra nogle værker har vist, at ved anvendelse af hausmanit kan forbruget af manganoxid halveres i forhold til andre manganprodukter.

Dette er dels betinget af dets høje manganindhold, dels dets finkornethed. Det skønnes, at der på brancheniveau kan opnås en reduktion på 20-30% af det samlede forbrug af manganprodukter, hvis der i hele branchen anvendes finkornede produkter med højt manganindhold. Ved anvendelse af finkornet manganoxid skal man være opmærksom på, at det er vanskeligt at håndtere i pulverform - det bygger op i sneglene og glider dårligt i siloer. Et problem der løses ved oprøring til slurry.

Støvproblemerne i forbindelse med dosering af manganprodukter kan ligeledes løses ved at opslemme manganoxid. Erfaringerne fra nogle værker har vist, at manganoxid kan opslemmes i vand uden brug af tilsætningsstoffer i stil med cellulosederivater. Med denne teknik elimineres støvproblemer stort set totalt. Dog skal man stadig være opmærksom ved åbning af sække, påfyldning og fjernelse af tomme sække. Erfaringerne viser, at støvproblemer i forbindelse med påfyldning etc. kan undgås ved brug af bigbags.

Erfaringerne har samtidig vist, at ved brug af opslemmet manganoxid (slurry) opnås en nøjagtig og effektiv dosering med mindre spild. Oprøring til slurry er lettest med relativ finkornet manganoxid.

#### **Anbefaling**

Som renere teknologi-løsning anbefales et lukket doseringssystem, hvor manganoxid er opslemmet i vand. Påfyldning af manganoxid bør etableres på en sådan måde, at der ikke opstår støvproblemer i forbindelse hermed. Dette kan gennemføres ved anvendelse af bigbags.

Ved valg af mangantype, bør man være opmærksom på dets finkornethed samt Mn-indhold.

Gevinsten ved ovennævnte anbefaling er, foruden et forbedret arbejdsmiljø, mindre råvareforbrug samt en nøjagtig og effektiv dosering.

Teknisk vil der kræves en blandebeholder med en kraftig omrøringsmotor samt en membranpumpe eller slangepumpe med frekvensomformning. Det har vist sig at være unødvendigt med tilsætningsstoffer i stil med cellulosederivater.

### **6.6.2 Doseringsmetode for bariumforbindelser**

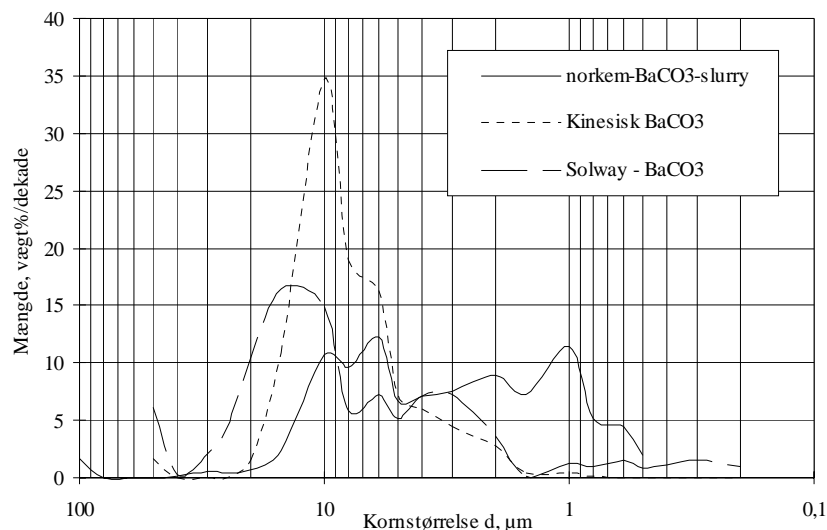
Ved tilsætning af bariumforbindelser kræves præcis og støvfri dosering, både af hensyn til arbejdsmiljø og teglkvalitet. Bariumforbindelser anvendes til neutralisering af sulfat i lerblandinger (delrapport fase III, afsnit 5.6.2).

I teglbranchen forbruges knap 900 tons bariumforbindelser pr. år (iflg. brancheundersøgelsen, delrapport I & II). I brancheundersøgelsen er der ikke skelnet mellem bariumcarbonat og bariumchlorid. Det skønnes at hovedparten af forbruget er bariumcarbonat.

Både bariumcarbonat og bariumchlorid er sundhedsskadelige. Bariumcarbonat er tungtopløseligt, hvorimod bariumchlorid er lettopløseligt.

Ved brug af bariumchlorid vil der ske en øget belastning på eventuelt røggasrensningsanlæg. Under brændingen frigives chlorid. En del af chloridet udledes via røggassen. I et røggasrensningsanlæg vil chlorid reagere med kalk og dermed forøge forbruget af kalk. Det er muligt, at et højt indhold af chlorid i røggassen vil blokere for en effektiv rensning for fluorid.

Bariumcarbonat udbydes i Danmark af bl.a. Solway og Norkem. Bariumcarbonat leveres på pulverform i løsvægt, sække, bigbags eller som slurry (bariumcarbonat opslemmet i en blanding af vand og cellulosederivat f.eks. CMC).



Figur 0.5 Kornfrekvenskurve på kornstørrelsesfordeling på 3 typer bariumcarbonatprodukter.

Der er i praksis 3 forskellige bariumcarbonat typer til rådighed:

- Solway, relativt fint, relativt dyrt.
- Kinesisk, relativt groft, måske varierende i kornstørrelse, relativt billigt.
- Norkem, slurry fremstillet i Holland på basis af kinesisk bariumcarbonat.

Det er generelt meget problematisk at dosere meget små tørstofmængder (f.eks. 0,1% bariumcarbonat) og opnå en god fordeling. Dosering på eller via sand kan muligvis forbedre fordelingen af det tilsatte tørstof.

Hvis det tørre bariumcarbonatpulver falder direkte på fugtig ler vil det måske blive "indkapslet", og dermed dårligt fordelt og ikke tilstrækkeligt effektivt. Denne "indkapsling" kan undgås ved at bruge en slurry. P.t. er der kun en slurry på markedet, nemlig Norkems, som er relativt groft.

Da det er meget små doseringsmængder der anvendes, er en grovkornet bariumcarbonat betydelig mindre effektiv end en finkornet. Dette problem kan løses ved at fremstille sin egen slurry på basis af en finkornet bariumcarbonat og et cellulosederivat.

Bearbejdning af lerblandingen må være af stor betydning. Efter en kollergang kan der stadig være klumper af den oprindelige råler på flere cm og dermed en dårlig fordeling af bariumcarbonat. Et valseværk vil give en bedre fordeling.

### **Anbefaling**

Som renere teknologi-løsning anbefales et lukket doseringssystem, hvor bariumcarbonat er opslemmet i cellulosederivat. Påfyldning bør etableres på en sådan måde, at der ikke opstår støvproblemer i forbindelse hermed. Dette kan gennemføres ved anvendelse af bigbags eller påfyldning direkte fra tankbil til silo.

Ved valg af bariumcarbonattype, bør man være opmærksom på dets finkornethed.

Gevinsten ved ovennævnte anbefaling er, foruden et forbedret arbejdsmiljø, en nøjagtig og effektiv dosering.

Teknisk vil der kræves en blandebeholder med en kraftig omrøringsmotor samt en membranpumpe eller slangepumpe med frekvensomformning.

Som alternativ kan tørt bariumcarbonat tilsættes via sand. Igen anbefales et lukket doseringssystem, samt brug af en relativ fin bariumcarbonat.

Brug af bariumchlorid bør begrænses til det minimale - dels på grund af arbejdsmiljø, dels på grund af dets negative indvirkning på effektiviteten af røggasrensningen for fluorid. Når bariumchlorid anvendes, bør det doseres fra et lukket doseringssystem, hvor bariumchlorid er opløst i vand.

### **6.7 Referencer og uddybende information**

- [1] Intern rapport, DTI-Murværkscentret, 1995.
- [2] Årlig energiundersøgelse for danske teglværker, 1984-1997, DTI-Murværkscentret.
- [3] Use of combined heat and power plants in the brick and tile industry, Helmut Peetz, Ziegel Industrie 4/1997, p. 169-178.
- [4] Industriel kraftvarme (IKV). Status samt eksempler på gasfyrede IKV-anlæg, Projektrapport, september 1997, Dansk Gasteknisk Center A/S.
- [5] Direkte tørring med industriel kraftvarme, infomøde d. 17.06.98, informationsprojekt af Peter Korsbæk Rådgivende ingeniører KS og Dansk Gasteknisk Center A/S. Projektet er finansieret af Energistyrelsen og kan frit anvendes.
- [6] Dual Fuel Drying of Ceramics, Ziegel Industrie, 3/1997 p. 141-145
- [7] NES A/S Seminar omkring Energi og Miljørigtig bygningsrenovering, tirsdag d. 21.10. 1997, Indlæg ved byggeteknisk chef, arkitekt M.A.A. Henrik Sundberg: "El som svampedræber".
- [8] Airless drying of ceramics products, Ceramics Industries International, Vol. 107, No. 1125, October 1997, p. 12-17.
- [9] Varmegenvinding i f.m. røggasrensning, 1997, Priebe, Rådgivende ingeniørfirma.
- [10] Eco-balance consideration on the reduction of fluorine concentration in the tunnel kiln waste gas", Dr.-Ing. Karsten Junge, Ziegelindustrie International 12/95
- [11] Biologisk monitorering af fluorid i Fredericia, Vejle Amtskommune, Forvaltningen for teknik og miljø, maj 1994.
- [12] At-anvisning nr. 3.1.0.2, Grænseværdier for stoffer og materialer.





## 7 Renere teknologi-løsninger på mørtelværker

Livscyklusvurderingen i fase III har vist at selve produktionsprocessen for våd- og tørmørtel ikke medfører væsentlige miljøpåvirkninger. Dette gælder under forudsætning af, at den kalk der anvendes, udelukkende er læsket brændt kalk baseret på traditionelle kalkstensprodukter. Mørtelproduktionen består fortrinsvis af doserings- og blandeprocesser. De energi- og råvarekrævende processer ligger i udvinding og fremstilling af delmaterialerne: Kalk, cement og sand, som livscyklusvurderingen viser.

Det ligger uden for dette projekts rammer at angive renere teknologi-løsninger for produktion af delmaterialer, men mørtelproducenter kan ved valg af underleverandører og delmaterialer være opmærksom på følgende miljøtemaer:

- Cementtype:
  - Specifikt energiforbrug
  - Brug af alternative råmaterialer
  - Transportlængde
- Kalktype:
  - Specifikt energiforbrug
  - Transportlængde
- Sandtype:
  - Vandforbrug
  - Energiforbrug til tørring
  - Transportlængde

På selve mørtelværket bør man være opmærksom på eventuelle støv- og støjproblemer.

På vådmørtelværkerne kan der evt. være mulighed for genanvendelse af kalkvand fra læskningsprocesser.

Ved fastlæggelse af blandingsforhold for receptmørtler i henhold til Murværksnormen DS 414, 5. udgave, bør indholdet af de energikrævende bindemidler ikke være højere, end det er nødvendigt for at opnå de deklarerede styrker.

8

## 9 Kriterier for anvendelse af alternative materialer

Der er udarbejdet et katalog: "Kriterier for anvendelse af alternative materialer. I kataloget er eksisterende viden vedrørende de udvalgte materialer samlet. Kataloget tænkes anvendt af bl.a. tegl- og mørtelproducenter som grundlag for en vurdering af et materiales egnethed i den aktuelle produktion. Kataloget kan også anvendes af restprodukt/biprodukt producenter og myndigheder som udgangspunkt for en vurdering af et aktuelt materiales afsætningsmuligheder. I indeværende hovedrapport er kun de generelle afsnit fra kataloget medtaget samt 3 eksempler på materiale gennemgange.

Vurderingen af de forskellige alternative materialer (restprodukter) har belyst, at anvendelsen af disse kan indebære ændrede miljøpåvirkninger i hele tegl- og mørtels livsforløb. Med baggrund i det udarbejdede katalog med vurdering af 33 materials egnethed i tegl- og mørtelprodukter kan forventede miljøkonsekvenser kort opsummeres som følger:

- Ingen forventede miljøkonsekvenser ved brug af 11 restprodukter.
- Forventede miljøkonsekvenser i:
  - Produktionsfasen:  
Lugtgener i produktionen ved brug af 6 restprodukter.  
Uønskede emissioner i røggas ved brug af 9 restprodukter.  
Arbejdsmiljø påvirkes generelt negativt ved brug af 5 restprodukter.
  - Byggefase/driftsfase:  
Arbejdsmiljø/indeklima påvirkes negativt ved brug af 8 restprodukter.
  - Genanvendelsesfasen:  
Forventede skærpede krav til deponering ved brug af 7 restprodukter.

Materialeegenskaberne bliver ligeledes påvirket ved brug af restprodukter. Forventede konsekvenser for materialeegenskaberne er opgjort som følger:

- Produktionstekniske problemer (eks. opblæring) ved brug af 5 restprodukter.
- Produktionstekniske forbedringer ved brug af 6 restprodukter.
- Forringelse af færdigvareegenskaber (styrker, misfarvninger) ved brug af 13 restprodukter.
- Forbedring af færdigvareegenskaber ved brug af 1-2 restprodukter.
- Uden betydning for færdigvare ved brug af 13 restprodukter.

I ovenstående opsummering af miljø- og materialekonsekvenser kan et materiale indgå i opgørelsen med negativ forventet miljøkonsekvens, men samtidig have en positiv indvirkning på materialeegenskaberne.

I kataloget er der givet en uddybende vurdering af hver enkelt materiale.

### 9.1

## 9.2 Alternative materialer som renere teknologi-løsninger

I kataloget er en række forskellige typer af materialers anvendelsesmuligheder i tegl- eller mørtelprodukter gennemgået. Der er primært tale om restprodukter/biprodukter fra andre industrier. I kataloget er der medtaget materialer, hvorom det gælder at:

- Der har været forespørgsler vedrørende materialets anvendelsesmuligheder i tegl- eller mørtelprodukter.
- Der er udført mere eller mindre veldokumenterede undersøgelser af materialets anvendelsesmuligheder i tegl- eller mørtelprodukter.
- Materialet anvendes i dag eller har været anvendt i tegl- eller mørtelprodukter.

Motivationen for igangsættelse af undersøgelser vedrørende anvendelsen i tegl- eller mørtelprodukter, har for en stor del af materialerne været et ønske fra restproduktproducenternes side om at finde genanvendelsesmuligheder for materialerne som alternativ til deponi eller forbrænding.

Anvendelse af alternative materialer i tegl- eller mørtelproduktionen kan inddeles i 3 forskellige typer af renere teknologi-løsninger:

- Renere teknologi-løsning direkte for tegl- eller mørtelproduktionen.
- Renere teknologi-løsning for en anden branche ved det, at branchens restprodukt genanvendes i tegl- eller mørtelproduktionen som alternativ til deponi eller forbrænding.
- Renere teknologi-løsning i et bredere samfundsmæssigt perspektiv, fordi et mere overordnet affaldsproblem løses ved genanvendelse i tegl- eller mørtelproduktionen som alternativ til deponi eller forbrænding.

Der er i kataloget medtaget eksempler på materialer, hvor anvendelsen i tegl- eller mørtelprodukter ikke kan betragtes som renere teknologi-løsninger, hvis tegl- eller mørtelproduktionen betragtes isoleret. Disse materialer er dog medtaget ud fra den betragtning, at anvendelsen ved en samlet livscyklusvurdering af et større udsnit af produkter, totalt set evt. kan være miljømæssig fordelagtigt og således kan betragtes som en renere teknologi-løsning.

Det skal understreges, at det ikke har været et kriterie, at de medtagne materialer efter gennemgang kan kategoriseres i en af ovennævnte 3 typer af renere teknologi løsninger. Der er således også medtaget materialer, hvor en isoleret betragtning af en del af gennemgangen kan indikere en renere teknologiløsning, men hvor negative miljøpåvirkninger vil veje tungere.

I kataloget findes 3 oversigtsskemaer for hhv. alternative materialer til tegl-, kalksandstens- og mørtelproduktion. Af skemaerne fremgår materialernes hovedfunktion i produktionsmæssig henseende, ved anvendelse i den aktuelle produktion. Skemaet anfører ingen subjektiv vurdering af de anførte funktioner.

Om det skal betragtes som positivt eller negativt, at et materiale vil fungere som f.eks. magringsmiddel eller farvestof, afhænger fuldstændigt af kravene til den aktuelle produktion, som materialet tænkes anvendt til, egenskaberne af de øvrige råmaterialer m.v. Enkelte af materialerne har ingen egentlig produktionsmæssig funktion, d.v.s. materialerne kan ikke anvendes med henblik på at styre en særlig procesparameter eller produkt-egenskab.

Motivationen for at anvende disse materialer i produktionen, kunne evt. være, at anvendelsen i en bredere samfundsmæssig betragtning blev vurderet som en renere teknologi-løsning. De nævnte oversigtsskemaer er afbildet på de efterfølgende sider.

Kataloget tænkes anvendt af bl.a. tegl- og mørtelproducenter som grundlag for en vurdering af et materiales egnethed i den aktuelle produktion.

Kataloget kan også anvendes af restprodukt-/biproduktproducenter og myndigheder som udgangspunkt for en vurdering af et aktuelt materiales afsætningsmuligheder.

Alternative råmaterialer til tegl	Plastisk råmateriale	Magringsmiddel	Farvestof	Fibre	Energi	Vand	Porøsitet	Ingen egentlig funktion
Blæsesand		x						
Støbesand		x						
Glas		x						
Vandværks-slam		x	x					
Mineraluld		x		x				
Blegejord	x				x			
Spildevandsslam					x	x	x	
Flyveaske		x						
Savsmuld					x		x	
Halm				x	x		x	
Papirreject					x		x	
Knust tegl/Chamotte		x						
Ler fra anlægsarbejder	x	x						
Havneslam	x				x			
Oliesand		x			x			
Sukkerroe-jord	x	x			x			
Grusgravsslam	x	x						
Poly-styren-affald					x		x	
Slagge fra stålproduktion		X						
Galvaniserings-slam								x
Garverislam								x
Restprod. fra røggasrensning								x
Restprod. røggasrens fra teglværk								x

*Tablet 0.1 Materiale typer til teglproduktion og angivelse af deres hovedfunktion.*

Alternative materialer til kalksandstensproduktion	Tilslag	Kalk		Farve	Bindemiddel
		ubrændt	brændt		
Knust Murværk	x				x

Tabel 0.2 Alternative materialetyper til kalksandstensproduktion samt angivelse af deres hovedfunktion.

Alternative materialer til mørtelproduktion	Tilslag	Kalk		Farve	Bindemiddel
		ubrændt	brændt		
Div. sandtyper	x				
Carbidkalk			x		
TASP					x
Slam, vandværks-slam				x	
Muslingeskaller		x			
Knust tegl (chamotte)	x			x	
Flyveaske	x				x
Microsilica					x
Slagger	x				x

Tabel 0.3 Alternative materialetyper til mørtelproduktion samt angivelse af deres hovedfunktion. NB! Anvendelse af alternative råmaterialer til cement indgår ikke i denne tabel.

### 9.3 Procedure for vurdering af alternative materials egnethed til tegl- eller mørtelproduktion

I forbindelse med vurderingen af et nyt materialets egnethed til anvendelse i et tegl- eller mørtelprodukt er der en lang række af parametre, der skal undersøges og tages stilling til. Opstilling af eksakte kriterier for hvornår et materiale generelt kan anvendes i tegl- eller mørtelproduktionen er ikke forsøgt udført her, da acceptkriterierne er stærkt afhængige af den aktuelle produktion, sammensætningen af de andre råmaterialer og krav til slutproduktet.

I det følgende er der opstillet en række hovedpunkter som bør gennemgås ved vurderingen af et alternativt materiale.

#### 9.3.1 Materialets fysiske form

Kræves der forarbejdning af materialet inden anvendelse er mulig? (knusning, tørring, homogenisering eller andet).

#### 9.3.2

### **9.3.3 Materialets kemiske/mineralogiske sammensætning**

Indeholder materialet forbindelser som er skadelige for tegl- og mørtelprodukternes ønskede egenskaber? Indeholder materialet forbindelser, hvis betydning for tegl- eller mørtelprodukternes egenskaber mangler at blive undersøgt? Materialer med højt indhold af f.eks. chlor er uegnede til mørtelprodukter.

Opløselige salte, f.eks. chlorid- og sulfatforbindelser, kan give misfarvninger på teglprodukter og materialer med højt indhold af chlorid og svovlforbindelser vil derfor typisk heller ikke kunne accepteres til teglprodukter. Eksakte grænser for acceptabelt chlorid- og svovlindhold afhænger af indholdet i de øvrige råmaterialer samt kravene til slutproduktet.

### **9.3.4 Mængder og leveringssikkerhed**

Hvad er de tilgængelige mængder af materialet?

Vil der være mulighed for at få materialet leveret kontinuerligt eller er de tilgængelige mængder ustabile/sæsonprægede? Er materialet ensartet fra leverance til leverance?

### **9.3.5 Miljø**

#### **Generelt**

Skal der træffes særlige miljømæssige foranstaltninger vedrørende lagring og håndtering? (støvgener? Krav om befæstet areal med afledning af regnvand eller andet?).

Hvorledes påvirker anvendelsen af det nye materiale mulighederne for senere genanvendelse af tegl- eller mørtelproduktet?

Kan materialet påvirke den miljømæssige side af produktets brugsfase, f.eks. indeklima? Ved vurdering af indeklima-påvirkninger bør målinger ske på de færdige produkter. Estimering af indeklima-påvirkninger ud fra erfaringstal fra lignende projekter vil være usikre. Det bør undersøges om brug af materialet kan påvirke indeklimaet, f.eks. ved reparationer eller lignende, hvor der f.eks. kan opstå støv fra materialerne.

#### **Emissioner/immissioner**

Kan materialet påvirke det interne eller eksterne miljø i form af emission/immission i tørringsluft og røggas?

Ved opvarmning af teglværksler iblandet organiske materialer (i tørringsanlæg, tunnelovn) vil der blive dannet gasarter, som kan blive emitteret til atmosfæren med røggassen. Dannelsen af gasarter vil kunne ske under hele opvarmningen, da godset i tunnelovnen bevæger sig i modstrøm med luften og røggassen trækkes tæt ved indgangsenden. En stor del af de dannede gasser vil blive brændt op i tunnelovnen, men afhængigt af hvor i processen afgasningen finder sted, kan emission med røggassen ikke udelukkes. Gasarter der dannes ved f.eks. 300°C vil ikke nødvendigvis blive varmet yderligere op.

#### **Tungmetaller**

Tungmetallerne vil for en stor del blive bundet i teglproduktet. Der er lavet forskellige undersøgelser vedrørende udvaskning af tungmetaller fra teglsten [8]. I de fundne artikler anvendes forskellige metoder til bedømmelse af den mulige udvaskning, og de giver forskellige resultater. Undersøgelserne indikerer at tungmetallerne muligvis er bedre bundet i teglmaterialer end i mange andre typer af materialer.



## **Energi**

Betyder anvendelsen af materialet ekstra energiforbrug? (p.g.a. fordampning af ekstra vand eller øget belastning på maskiner eller lign.). Har materialet en brændværdi? Kan materialets energiindhold udnyttes effektivt og dermed reducere behovet for traditionelle brændsler?

### **9.3.6 Arbejdsmiljø**

Indeholder materialet stoffer, der kan påvirke arbejdsmiljøet i negativ retning? Indeholder materialet, f.eks. organiske opløsningsmidler, skal det sikres at der ikke sker uacceptabel afgasning under bearbejdning af råmaterialerne eller fra tørringsanlæg. Indeholder materialet stoffer, hvis påvirkning af arbejdsmiljøet er ukendt? Kan håndteringen af materialet foregå efter arbejdsprocesser, der er arbejdsmiljømæssigt forsvarlige?

### **9.3.7 Sideeffekter**

Påfører materialet øget/mindsket slid på maskiner og udstyr?

### **9.3.8 Image**

Kan anvendelsen af materialet gavne eller skade tegl- og mørtelbranchens image?

### **9.3.9 Lovgivning**

Er der særlig lovgivning knyttet til materialet vedrørende lagring, anvendelse, bortskaffelse? Kræves der særlig miljøgodkendelse?

### **9.3.10 Økonomi**

Er anvendelsen total set økonomisk rentabel?

### **9.3.11 Produktkvalitet**

Hvad betyder anvendelsen totalt for produktets kvalitet? Er der når alle aspekter tages i betragtning tale om en forbedring af produktkvaliteten, forringelse eller er anvendelsen af materialet kvalitetsmæssigt neutralt? Er processen blevet mere/mindre sårbar overfor mindre ændringer i produktionsforhold? Vil der blive øget/mindsket risiko for spild?

## **9.4 Eksempler på alternative materialer**

(Jvf. katalog: "Kriterier for anvendelse af alternative materialer i tegl- og mørtelprodukter").

### **9.4.1 Glas**

#### **Beskrivelse af materialet**

Glasaffald kan inddeles i forskellige typer, planglas, glasemballage m.v.

#### **Mængder og andre anvendelsesmuligheder for materialet**

Der formodes at være ca. 60.000 tons planglasaffald pr. år [3].

Glasemballagepotentialet i Danmark kan ifølge Rendans glas- og flaskestatistik opgøres til ca. 160.000 tons årligt, eksklusiv cirkulerende pant-, øl- og vandflasker [4].

Der eksisterer forskellige muligheder for at genanvende dele af glasaffaldet. Glasuld og Holmegaard Glasværk er aftagere af en stor del af glas-affaldet. Begge aftagere har krav om, at glasset ikke må indeholde keramisk forurening.

#### **Anvendelse i tegl**

Knust glas vil principielt kunne anvendes som magringsmiddel (som erstatning for sand) i tegl. Da glas (selv med højt SiO<sub>2</sub>-indhold) ikke indeholder kvarts, vil det i tegl (specielt i røde, blødstrøgne sten), kunne give mindre risiko for kølerevner og dermed bedre trykstyrke.

#### **Nuværende anvendelse**

Enkelte teglværker har anvendt knust glas med det formål at sænke sintringsintervallet. Dette har vist sig ikke at være muligt.

#### **Dokumentation af egenskaber**

Der er på nuværende tidspunkt ikke fremskaffet dokumenterede undersøgelser af glassaffalds anvendelse som alternativt materiale til teglproduktionen.

#### **Problemstillinger**

- Der kan være risiko for misfarvninger, hvis sammensætningen af glasset ikke er kontrolleret.
- Glasaffaldet må ikke indeholde urenheder, der kan give problemer under produktionsprocessen (patentpropper, elsikringer, m.v.).

#### **Besparelse i primære råstoffer**

Knust glas kan evt. delvist erstatte sand.

#### **Konsekvenser for arbejdsmiljø, genanvendelsesfase samt brugsfase**

Arbejdsmiljøforholdene skal generelt tage højde for at skader undgås som følge af skarpe skår. Produktionsforholdene skal tilrettelægges således, at evt. støvgener p.g.a. glasstøv efter knusning af materialet undgås.

Det vurderes, at glas næppe vil give miljømæssige problemer i produktionen eller i senere livscyklusfaser. Det er dog en forudsætning, at sortering og rensning af eventuelle madrester er foretaget før levering til teglværkerne. Anvendelsen af materialet vurderes ligeledes at være uden betydning for den miljømæssige side af produktets brugsfase (f.eks. indeklima).

#### **Bedømmelse af materialet**

Det vurderes, at der er potentiel mulighed for, at man kan anvende følgende to typer glas som magringsmiddel i tegl:

- Flaskeglas med og uden keramisk forurening.
- Vinduesglas.

Afgørende for anvendelsen er kornstørrelsesfordelingen samt kornform af materialet. Disse parametre bestemmes i stor udstrækning af nedknusningsmetoden. Forsøg (laboratorie- og produktionsforsøg) vil derfor indebære bestemmelse af kornstørrelsesfordeling (sigtning) og kornform (mikroskopi). Der skal for hver relevant materialetype undersøges smelteforhold ved relevante temperaturer.

### **9.4.2**

### 9.4.3 Mineraluld

#### Beskrivelse af materialet

Mineraluld består af syntetiske, uorganiske fibre, bundet sammen af et organisk bindemiddel. Der findes to typer af mineraluld, glasuld med fibre af glas og stenuld med fibre af smeltet bjergartsmateriale.

Mineralulds askerest har en kemisk sammensætning, der er meget lig gulbrændende tegls.

Mineraluld som restprodukt kan stamme dels direkte fra mineraluldsproduktionen, dels fra selektiv nedrivning af bygninger isoleret med mineraluld.

#### Mængder og andre anvendelsesmuligheder for materialet

Mængden af tilgængeligt mineraluldsrestprodukt kendes ikke. Rockwool oplyser, at virksomheden tilstræber at tilbageføre alt produceret restprodukt til egen produktion [6].

#### Anvendelse i tegl

Fordelene ved anvendelsen af mineraluld i tegl ligger i, at fibrene giver større råstyrke i de tørrede sten og dermed mindre risiko for tørrerevner. Ved brænding mister fibrene helt deres styrke, og må herefter betegnes som et magringsmateriale, der næppe bidrager til sintringen.

#### Nuværende anvendelse

Et enkelt dansk teglværk anvender mineraluld i lerblandingen til bestemte typer formsten, som er vanskelige at tørre uden problemer med revner. Herved blev der opnået en mindre spildprocent. Værket har tidligere i 3-4 måneder anvendt spild fra mineraluldsproduktion i lerblandingen til normale blødstrøgne teglsten. Mineralulden blev blandet med sand til magring og kunne delvis erstatte dette sand. Der kunne ikke konstateres målbare ændringer i kvalitet eller spild i forhold til normal produktion.

#### Dokumentation af egenskaber

Murværkscentret (MUC) har udført laboratorieforsøg med anvendelse af mineraluld i tegl. Forsøgene viste, at op til 1% (W/W) mineraluld kunne tilsættes til lerblandingen uden nedsættelse af styrkeegenskaberne [22].

#### Problemstillinger

Følgende problemstillinger må anses for væsentlige i forbindelse med anvendelse af mineraluld i tegl:

- Materialet kræver særlige lagringsforhold, da det fylder meget og samtidig er meget let og derfor nemt blæser bort.
- Håndtering af mineraluld.
- Mineraluld fra nedrivninger kan være problematisk p.g.a. diverse forureninger, der er uønskede i lerblandinger til tegl.

#### Besparelse i primære råstoffer

Mineraluld erstatter ikke direkte et primært råstof.

#### Konsekvenser for arbejdsmiljø og genanvendelsesfasen samt brugsfase

Ved håndtering af større mængder mineraluld kræves der særlige lagringsforhold samt doserings- og håndteringsudstyr for at sikre et forsvarligt arbejdsmiljø.

Materialet vurderes umiddelbart ikke at have indflydelse på produktets senere livscyklusfaser.

### **Bedømmelse af materialet**

Laboratorieundersøgelser og regulær anvendelse i teglproduktionen har vist, at anvendelsen af mineralulds restprodukt direkte fra producent er en relevant anvendelse af materialet. Mineraluld fra nedrivninger kan være mere problematisk. Anvendelse af mineraluld i større skala i teglproduktionen vil kræve udvikling/tilpasning af doserings-, lagrings- og tilberedningsudstyr, så bl.a. arbejdsmiljøproblemer kan undgås.

### **9.4.4 Ler fra anlægsarbejder**

#### **Beskrivelse af materialet**

Ved større anlægsarbejder kan der blive fjernet større mængder ler. Det kan f.eks. dreje sig om ikke bærende lag ved vejbygning. Leret har forskellige kvaliteter - smeltevandsler, moræneler. Det er primært smeltevandsler som kan forventes at være anvendeligt som teglværksler. Både rød- og gulbrændende ler kan anvendes.

#### **Mængder og andre anvendelsesmuligheder for materialet**

Der vil normalt være tale om en engangsudvinding, hvor teglindustrien har behov for stabile udvindings- og leveranceforhold over længere tid.

Lermængden og homogeniteten vil selvfølgelig afhænge af forholdene ved det enkelte anlægsarbejde. I visse tilfælde kan det tænkes, at anlægsarbejder kan give så store og homogene lermængder over længere tid, at de kan bruges som primær råvare i teglproduktionen. En sådan situation er beskrevet i forbindelse med naturopretningsprojekter i Rhin-deltaet i Holland [34].

#### **Anvendelse i tegl**

Materialet kan anvendes i tegl som iblanding i produktionsleret.

Hvis der er tale om en leverance over kortere tid kan det aktuelle ler kun anvendes som en begrænset del af værkets lerblandinger - f.eks. 5%. Herved undgås svingninger i produktionsforholdene.

#### **Nuværende anvendelse**

I amterne er der en forventning til at materialet i stor udstrækning allerede anvendes i teglindustrien, idet det indgår som krav i regionplanerne.

#### **Dokumentation af egenskaber**

Kravene til dokumentation er de samme som til normalt teglværksler, primært kornstørrelsesfordeling, kalkindhold, svovl- og sulfatindhold.

#### **Problemstillinger**

Da gravningen/udvindingen ikke foretages efter teglværkets behov og normale retningslinier i lergrave, er det her særdeles væsentligt at være opmærksom på variationer i leraflejringerne. Der kan her være behov for et større antal analyser af råmaterialerne end normalt. Anvendes moræneler kan maskiner og valseværker påføres øget slid, p.g.a. stenindhold.

#### **Besparelse i primære råstoffer**

Besparelsen ligger primært på ler. Er der tale om magert ler vil der også være tale om besparelser i anvendte sandmængder.

#### **Konsekvenser for arbejdsmiljø, genanvendelsesfase samt brugsfase**

Anvendelsen af materialet vurderes ikke at påvirke arbejdsmiljøet eller produktets senere livscyklusfaser.

#### **Bedømmelse af materialet**

Som iblanding i produktionsler kan materialet anvendes i teglen normalt kun i mindre mængder.

## **9.5 Referencer og uddybende information**

- [1]: “Genanvendelse af planglas”, Arbejdsrapport nr. 88, 1997, fra Miljøstyrelsen.
- [2]: “Test af glasindsamling med farveseparering”, Miljøprojekt nr. 340, 1996.
- [3]: Rockwool, Poul Larsø.
- [4]: “Mineraluldsfibre i teglmateriale”, Murværkscentret, rapportnr. 252-2-6021.
- [5]: “Living Rivers”, World Wide Fund for Nature, 1993

# Bilag 1 Produktionsprincipper for tegl

Produktionen af teglprodukter varierer mellem forskellige produkttyper. I denne beskrivelse af produktionsprincipper skelnes mellem mursten og tagsten.

Alle tegltyper gennemgår de samme overordnede produktionsprincipper (blanding, formning, tørring og brænding).

Produktionen kan skitseres, som følger:

- Gravning og transport af ler
- Lagring af råler
- Blanding og sumpning
- Bearbejdning
- Formning
- Tørring
- Sætning på ovnsvogne
- Brænding
- Pakning og emballering
- Eventuel glasering af teglsten
- Eventuel produktion af tegloverligger
- Til lager/udlevering

## **Gravning og transport af ler**

Ler udvindes med gravemaskine og transporteres med lastbiler fra lergrav til produktionssted.

## **Lagring af råler**

Ved værket sker oftest en udendørs (eventuel overdækket) lagring af råleret. Vognlæssene fordeles i lag, hvorved der opnås en opblanding og en lerkvalitet der er nødvendig for processen.

Hydratkalk anvendes som hjælpemiddel til stabilisering af råleret i våde perioder. Bariumkarbonat tilsættes for at neutralisere sulfat, så misfarvning af stenoverflader undgås.

## **Blanding og sumpning**

Fra udendørs lager transporteres råleret til kasseføder. Denne transport foregår ofte med gravemaskine. Fra kasseføder føres råleret via transportbånd til lersumpen. Skal foreksempel to lertyper blandes benyttes to kasseførere - en til hver lertype - til opnåelse af det ønskede blandingsforhold. I lersumpen udlægges råmaterialerne efter forskellige blandingsprincipper, hvor størst mulig blanding tilstræbes.

Eventuel tilsætning af hydratkalk og bariumkarbonat/chlorid sker i denne delproces.

Eventuel tilsætning af sand, chamotte og savsmuld sker enten kort før lersumpen, i lersumpen eller umiddelbart efter sumpen. Sand og chamotte tilsættes som magringsmiddel. Savsmuld tilsættes leret for at lette tørre- og brændingsprocessen.

### **Bearbejdning**

Fra lersumpen transporteres leret via transportbånd til kollergang og herfra videre til valseværk, hvor yderligere homogenisering af produktionsleret sker. Under bearbejdningen tilsættes eventuelle manganforbindelser. Manganforbindelserne anvendes i mindre mængder som farvestof.

### **Formning**

Produktionsleret æltes i en forælter, hvorefter blandingen opvarmes til 30-35°C ved hjælp af en gasbrænder eller ved damptilsætning. Herefter sker formningen, ofte under vakuum tilsætning:

#### *Mursten*

Mursten formes enten i en blødstenspresse eller en strengpresse:

I en blødstenspresse trykkes leret ned i forme og derefter afsættes den formede sten på stålplader, på brædder eller lægter, som automatisk transporteres bort fra maskinen.

Maskinsten formes på en strengpresse. Strengpressen består af en aksel med en snegl, der er indesluttet i en cylindrisk kappe. Leret presses af sneglen frem mod udløbet, der er forsynet med et mundstykke, der bestemmer stenenes dimensioner, og en eventuelt en indsats, der bestemmer huludformningen. Den sammenhængende lerstreng, der af sneglen presses ud af mundstykket, bliver på afskærerbordet skåret i sten.

#### *Tagsten*

Tagsten formes enten i en strengpresse eller i gipsforme.

Vingetagsten formes i en strengpresse efter sammes princip som ved formning af maskinsten, dog uden indsats til huludformning. På afskærerbordet bliver lerstrengen skåret i tagsten og derefter afsættes stenen på lægter, som automatisk transporteres bort fra maskinen.

Falstagsten formes i gipsforme. I en dertil indrettet maskine trykkes leret ned i en underform, hvorefter en overform presses ned mod underformen. Efter presningen afsættes den færdigpressede sten på lægter, som automatisk transporteres bort fra maskinen.

Herefter transporteres stenene til tørring.

### **Tørring**

Tørring af sten foregår enten i tørrekamre eller i tunneltørringsanlæg.

Tørringsprocessen styres ved regulering af luftmængderne i til- og afgangspjældene og lufttemperaturen i tørreluften, således at optimal tørringsforløb opnås.

I et tørrekammer er stenene stationære. Her ændres luftmængder og -temperatur som funktion af tiden.

I et tunneltørringsanlæg er stenene mobile og tunneltørreriet er inddelt i zoner med forskellige lufttilstande.

### **Sætning på ovnsvogne**

Fra tørrekamre/tunneltørringsanlæg transporteres stenene til sættemaskinen, som sætter stenene på ovnsvogne i et forprogrammeret stablesystem.

### **Brænding**

Umiddelbart før ovnen er ofte placeret en forvarmer, hvor ovnsvognene holdes klar til indkøring i ovnen. Ved brug af forvarmer undgås nedkøling af stenene, hvilket er både en kvalitetsmæssig og en produktionsteknisk forbedring.

Ovnsvognene køres ind i tunnelovnen. Styringen af brændingen sker via en PC'er. Tøptemperatur og øvrige temperaturindstillinger afhænger af produkttype.

Under brændingen foregår der i lermassen en række fysiske og kemiske processer, hvorved leret omdannes til tegl.

### **Pakning og emballering**

Fra ovnen transporteres stenene videre til aflæssermaskiner, hvor de aflæsses. Sten klar til salg palletteres og emballeres med krympeplast i en krympemaskine. Sten til eventuel glasering eller tegloverliggere transporteres videre til respektive område.

### **Eventuel glasering**

Stenene påføres den ønskede glasur, enten ved dypning eller sprøjtning, og transporteres herefter til tørring. Når glasuren er tør, brændes stenene påny.

### **Eventuel produktion af tegloverliggere**

Teglsten udfræses. Stål lægges i de udfræsedede teglsten og mørtlen støbes ned i de udfræsedede sten og omkring stålet. Overliggeren hærder ved stuetemperatur.

### **Til lager/udlevering**

Pallerne føres via transportbånd til lager/udlevering. Tegloverliggere transporteres med truck til lager/udlevering.





# Bilag 2 Produktionsprincipper for mørtel

## **Vådmørtel**

Produktionen kan skitses, som følger:

- Oplagring af råmaterialer
- Dosering og blanding
- Til udlevering

### **Oplagring af råmaterialer**

Sand lagres i udendørs silo. Kalken modtages enten i form af brændt kalk eller som hydratkalk og lagres i lukkede siloer. Brændt kalk tilsættes den ønskede vandmængde til fremstilling af hydratkalk.

### **Dosering og blanding**

Sand og hydratkalk doseres efter vægt og blandes. Vand tilsættes under blandingen.

### **Til udlevering**

Efter blanding transporteres den kalktilpassede mørtel via snegle til udleveringen, hvor mørtlen læsses på lastbiler, i  $\frac{1}{2}$  m<sup>3</sup> container eller i spande.

## **Tørmørtel**

Produktionen kan skitses, som følger:

- Oplagring af råmaterialer
- Dosering og blanding
- Pakning og lager/udlevering

### **Oplagring af råmaterialer**

Sand lagres i udendørs silo. Kalken modtages enten i form af brændt kalk eller som hydratkalk og lagres i lukkede siloer. Brændt kalk tilsættes den ønskede vandmængde til fremstilling af hydratkalk. Cement lagres i lukkede silo.

### **Dosering og blanding**

Sand, hydratkalk og cement doseres efter vægt og blandes. Eventuelle tilsætningsstoffer, farvestoffer og/eller filler iblandes.

### **Pakning og lager/udlevering**

Den færdigblandede tørmørtel påfyldes sække, som palleteres og transporteres videre til lager/udlevering.



## Bilag 3 Definitioner og terminologier

Livscyklusvurdering	En helhedsorienteret miljøvurdering, som i denne sammenhæng omfatter alle processer i hele bygværkets eller dets bestanddeles livsforløb og som vedrører alle relevante miljøeffekter (1).
Miljøeffekter	Effekter på ressourcegrundlag, flora, fauna, vand, luft samt effekter på mennesker der arbejder med bygværker (arbejdsmiljø) og mennesker der benytter eller bor i tilknytning til bygværket (brugere/naboer).
Miljøindsats	Almen betegnelse for alle de tiltag, som den projekterende - og andre - gennemfører for at opstille og gennemføre projektets miljøprogram (1).
Miljøprogram	Den del af det samlede byggeprogram, der omfatter kortlægning af projektets miljørelationer og -effekter samt bygherrens prioriteringer og målsætninger (1).
Miljøpåvirkninger	Se miljøtemaer.
Miljøprofil	Opstilling af de vigtigste miljøeffekter for et bygværk eller et materiale med henblik på anvendelse i miljøvurderinger og opstilling af miljøregnskab.
Miljøtemaer	De input/output af emissioner samt andre påvirkninger, igennem hvilke et projekt kan bidrage til de forskellige miljøeffekter.
Miljøvurdering jf. ansg.	Formuleringen i den oprindelige ansøgning tillægger ordet "miljøvurdering" betydningen "en sammenfattende rapportering". Der er således tale om en anden og mere generel betydning end den DRI tillægger "miljøvurdering".
Miljøvurdering jf. FRI	Vurdering af miljøeffekterne fra en given miljørelation og/eller vurdering af virkemidler i relation hertil (1).
Miljøregnskab	Opstilling af de samlede miljøeffekter for et bygværk (eller produktionsproces) over en given tidsperiode med henblik på opfølgning i forhold til ens miljøstyringssystem.
Miljøstyring	Håndtering af et projekt i hele dets livscyklus - fra program til bortskaffelse - på en sådan måde, at overholdelse af de opstillede miljømæssige mål løbende kontrolleres (1).

Renere teknologi	Et relativt begreb som betegner et princip, hvor man til stadighed skal søge at mindske ressourceforbruget og miljøeffekterne så tæt ved kilden som muligt (1).
Virkemidler	De tiltag der kan gennemføres for at formindske miljøeffekterne ved en given miljørelation eller en sum af miljørelationer. Virkemidler fastsættes typisk i en handlingsplan (1).
Handlingsplan	Konklusion på livscyklusvurdering eller miljøvurdering med henblik på at fastsætte resultaterne af vurdering samt angive mulige forbedringsforslag til produktion/anvendelse af bygværket eller materialet.
Brancheprofil	Se (2)
Byggevarer	Se (2)
Indre miljø	Se (2)
Indre miljøeffekter	Se (2)
Indre miljøpåvirkninger	Se (2)
Materialer	Se (2)
Miljøbelastning	Se (2)
Miljøparametre	Se (2)
Produktionsproces	Se (2)
Renere teknologi	Se (2)
RT-brancheanalyse	Se (2)
Ydre miljø	Se (2)

(1): Miljøstyrelsen, Miljøprojekt nr. 253 - Miljørigtig Projektering, 1994.

(2): Dansk Industri, DTI Byggeri, Dansk byggevareindustri fase 2 - Udarbejdelse af model for Renere Teknologi brancheanalyse, 1995.