

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen

Nr. 65 1993

Anvendelse af slam i teglproduktion

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 65 1993

Anvendelse af slam i teglproduktion Litteraturstudie

Bente Elise Nielsen og Alice Saabye
I. Krüger Systems A/S
Helene Gram Pedersen og Helge Hansen
Dansk Teknologisk Institut.
Byggeteknisk Institut. Murværkscentret

MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
Strandgade 29
1401 København K

INDHOLDSFORTEGNELSE.

1.	FORORD	4
2.	RESUMÉ	5
3.	ABSTRACT	6
4.	BAGGRUND	7
5.	FORMÅL MED ANVENDELSE AF SLAM	8
6.	SLAMTYPER	9
6.1	Slam fra kommunale rensningsanlæg	9
6.1.1	Koncentreret og afvandet slam	10
6.1.2	Tørret slam	10
6.1.3	Slam efter vådoxidation	11
6.1.4	Aske fra slamforbrænding	11
6.1.5	Smeltet slagge fra forbrænding af slam	12
6.1.6	Undersøgte slamtyper contra danske slamtyper	12
6.2	Vandværksslam	13
6.3	Slam fra industrier	13
6.3.1	Slam fra papirindustri	13
6.3.2	Slam fra vask af grus	14
6.3.3	Slam fra galvaniseringsanstalter	14
6.3.4	Slam fra andre industrier	15
6.4	Slam fra havne og floder	15
7.	EGENSKABER SOM KERAMISK RÅMATERIALE	16
8.	TEGLFREMSTILLING	18
8.1	Forsøgsform	18
8.2	Patenter	18
8.3	Produkttyper	19
8.4	Andre råvarer	19
8.5	Blanding/lagring	19
8.6	Formgivning	20
8.7	Tørring	20
8.8	Brænding	20
8.9	Energiindhold	21
8.10	Slamindhold	21

9.	FÆRDIGVAREEGENSKABER	23
	9.1 Trykstyrke	23
	9.2 Densitet	23
	9.3 Farvning	23
	9.4 Misfarvning	24
10.	ARBEJDSMILJØ	25
11.	LUFTFORURENING	26
12.	BINDING AF TUNGMETALLER	27
13.	SLAM I ANDRE BYGGEMATERIALER	29
	13.1 Letklinker	29
	13.2 Tilslagsmateriale til beton	29
	13.3 Cement	29
	13.4 Kalksandsten	29
	13.5 Isoleringsprodukter	29
14.	ANDRE SPILDMATERIALER I TEGL	30
15.	ANVENDELSE AF FÆRDIGVARER	31
16.	GENERELLE PROBLEMSTILLINGER	32
17.	KONKLUSION	33
18.	REFERENCER	34

Bilagsliste:	1. Litteratursøgning
	2. Udgivelsesår
	3. Første patent, 1889
	4. Erfaringer og indstillinger i andre europæiske lande
	5. Globus

1. FORORD.

En mulig genanvendelse for slam er at lade slammet indgå i teglproduktion.

I nærværende rapport gives en status for de internationale erfaringer på området.

Rapporten er udarbejdet på basis af et litteraturstudie, samt på basis af erfaringer indhentet via europæiske teglorganisationer og teglforskningsinstitutioner.

Rapporten er udarbejdet af:

Bente Elise Nielsen	I. Krüger Systems A/S
Alice Saabye	I. Krüger Systems A/S
Helene Gram Pedersen	DTI-Byggeteknisk Institut, Murværkscentret
Helge Hansen	DTI-Byggeteknisk Institut, Murværkscentret

I forbindelse med projektet har der været en følgegruppe bestående af:

Jørgen Krejbjerg	Petersminde Teglværk A/S
Børge Lund Jensen	Odense Magistrat 2. afdeling, Vej- og Spildevandsafdelingen
Jette Skaarup	Miljøstyrelsen, Affalds- og Gen- anvendelseskontoret
Morten Jørck	Skov- og Naturstyrelsen

Hovedindholdet i rapporten har inden færdiggørelsen været forelagt følgegruppen og er blevet diskuteret på et følgegruppemøde på Petersminde Teglværk den 29. september 1992. Synspunkter fremsat på dette møde er herefter blevet indarbejdet i rapportens konklusioner.

Arbejdet er blevet finansieret af Miljøstyrelsen, Affalds- og Genanvendelseskontoret.

**I. Krüger Systems A/S og Murværkscentret
Oktober 1992**

2. RESUMÉ.

Denne rapport beskriver et litteraturstudium af mulighederne for og erfaringerne med at genanvende slam i teglproduktionen.

Hovedformålet med anvendelse af slam i tegl har været bortskaffelse af slam. Derudover er der nævnt formål som substitution af råvarer, energitilskud og binding af tungmetaller.

Der er undersøgt mange typer slam: slam fra kommunale rensningsanlæg, slam fra vandbehandling, papirslam, grusslam, havneslam, garverislam m.m.

De nye slamtyper fra rensningsanlæg med kvælstof- og fosforfjernelse er ikke undersøgt.

Undersøgelserne spænder fra laboratorieforsøg, over produktionsforsøg til egentlige produktioner. Det normale produkt er mursten, men også belægningssten, fliser og finkeramik er fremstillet.

Det er teknisk muligt at anvende slam i teglproduktion. Den mulige tilsætning er afhængig af slam og produkttyper, og den vil realistisk være 5-10% på tørstofbasis.

Færdigvareegenskaber vil ændres ved tilsætning af slam: styrker og densiteter vil normalt falde med stigende slamindhold. Der vil være risiko for misfarvninger.

Slammet skal om nødvendigt bearbejdes, så det kan indgå i produktionen uden væsentlige problemer for teglværket. Slammet skal have konstante veldefinerede egenskaber. Det må ikke give lugtproblemer.

Der er risiko for øget luftforurening. Der kan emitteres organiske stoffer, salte og visse tungmetaller.

En del tungmetaller vil blive bundet fast i teglmaterialet.

3. ABSTRACT

This report is the result of a literature study carried out with the purpose of obtaining a survey of international experiences with the utilisation of sludge in brick production.

According to the literature, the main purpose of incorporating sludge into bricks is sludge disposal. Other purposes, such as the replacement of raw materials, the substitution of fuel during firing, and bonding of heavy metals, are also reported.

Many sludge types have been examined: different types of sludge from municipal wastewater treatment plants, water treatment sludge, paper-making sludge, sand-washing wastes, harbour sludge and tannery sludge to mention some of them.

The new sludge types from wastewater treatment plants with nitrogen and phosphorus removal have not been dealt with.

Investigations range from laboratory tests over full-scale tests to actual productions. The main products are bricks, but pavement blocks, tiles, and other types of ceramics have also been produced.

From a technical point of view, sludge can be used in brick production. Any possible addition depends on the sludge type and the product type in question, and it will typically amount to 5 to 10% on a dry solids basis.

The properties of the products may change when sludge is added. Normally the strength and the density will decrease with increasing sludge content. There is a risk of the products being discoloured.

If necessary, the sludge must be prepared so as to be usable in the production without any problems for the brick-works. The sludge must have constant, well-defined properties, and it must not cause any smelling problems.

There is a risk of increased air pollution. Some organic compounds, salts, and heavy metals may be emitted.

Most heavy metals will be bonded in the brick material during the firing.

4. BAGGRUND.

Ud fra bl.a. litteraturen er man både på spildevands- og teglsiden i de senere år blevet opmærksom på, at der kan ligge muligheder i at genanvende slam i teglproduktionen. Der kan være tale om slam af alle mulige typer.

Muligheden er blevet aktualiseret af, at der i de kommende år vil ske en stigning i produktionen af biologisk/kemisk slam, p.g.a. at alle større rensningsanlæg skal udbygges med kvælstof- og fosforfjernelse. Den årlige slamproduktion forventes at blive 250.000 t TS/år.

Med henblik på at afklare mulighederne for at anvende slam i teglproduktion i DK har I. Krüger Systems A/S og DTI-Byggeteknisk Institut, Murværkscentret, udført nærværende litteraturstudie for Miljøstyrelsen.

Studiet har omfattet en gennemgang af tidligere indsamlet litteratur, samt litteratur indhentet gennem søgning i 18 databaser som beskrevet i bilag 1.

Ved litteratursøgningen er der fundet 46 referencer, der bedømmes som relevante. Det er karakteristisk, at de - med en enkelt undtagelse, se bilag 4 - alle er under 20 år, og at antallet stiger jo nærmere, man kommer 1992, bilag 2.

Referencerne viser også, at problemstillingen har været taget op over det meste af jordkloden, se bilag 5.

Søgningen har givet artikler, der behandler anvendelse af flere forskellige slamtyper i tegl. Af disse slamtyper er medtaget dem, der bedømmes at være relevante efter danske forhold.

Endvidere er der indhentet erfaringer gennem kontakter til udenlandske tegl- og forskningsinstitutioner. De modtagne svar er refereret i bilag 4.

I rapporten er følgende problemstillinger søgt belyst:

- Hvilke formål var der med slamtilsætninger?
- Hvilke slamtyper blev anvendt?
- Hvilke produktionsmetoder og procesforhold blev anvendt?
- Hvilke produkter blev fremstillet?
- Hvilke erfaringer blev opnået?
- Miljø- og energimæssige konsekvenser?
- Kan erfaringerne udnyttes i Danmark?

5. FORMÅL MED ANVENDELSE AF SLAM.

Den generelle motivation for at anvende slam i tegl er at nyttiggøre slam, der ellers skulle bortskaffes på anden vis.

I alle de fundne referencer er bortskaffelse af slam et væsentligt formål med anvendelsen.

Derudover nævnes følgende formål:

- Mindre forbrug af normale råvarer (1, 14, 15, 29), deriblandt materialer, der skal give porøsitet (45).
- Energitskud til brænding (1, 29, 36).
- Forøgelse af teglproduktionen (29, 36).
- Kvalitetsforbedring, større porøsitet (12, 27).
- Nemmere produktion (29).
- Binding af tungmetaller (6, 21).
- Forbrænding af farlige inficerende stoffer (12).

Som eksempler på lokaliteter, hvor alvorlige problemer med store mængder spildevandsslam har motiveret til undersøgelse af forskellige anvendelsesmuligheder, deriblandt tegl, kan nævnes Singapore (3, 4, 38, 39, 40, 41), Maryland, Washington DC (1, 10, 11, 12), Japan (24, 31) og tidligere Jugoslavien (29).

Store mængder slam fra papirindustri motiverer også til at se på anvendelse i tegl (17, 35, 45, 46).

Muligheden for binding af tungmetaller motiverer især m.h.t. slam fra galvanisering (21, 6, 32), men gælder også for spildevandsslam og havneslam.

Havne- og flodslam kan være til rådighed i rigelige mængder p.gr.a. manglende dumpningsmuligheder, hvor der samtidig er ved at være knaphed på ler til bl.a. teglproduktion (13, 14, 15).

Gruslam kan i nogle lande give stigende deponeringsproblemer, fordi man efterhånden anvender mindre rene forekomster (5, 33).

At initiativer kommer fra teglværker ses, omend sjældent (36).

6. SLAMTYPER.

6.1 Slam fra kommunale rensningsanlæg.

Slam fra kommunale rensningsanlæg med forskellige spildevandsrensingsprocesser er undersøgt som råmateriale ved teglfremstilling.

Slammet beskrives ved den spildevandsrensingsproces, det er fremkommet ved. I de fleste tilfælde er denne beskrivelse kortfattet, men giver dog et rimeligt indtryk af slammet. For bedre at kunne sammenligne med dansk slam havde det været en fordel med flere detaljer, specielt i tilfælde, hvor der tilsættes kemikalier til fældning og/eller stabilisering. I tilfælde af videregående behandling af slammet (tørring, vådoxidation, forbrænding, smeltning) er denne nøje beskrevet.

Slammets kemiske sammensætning og fysiske egenskaber er beskrevet med meget varierende detaljeringsgrad, jvf. afsnit 7.

I forbindelse med udvikling af Biobricks er der i Maryland, USA, udført forsøg (bench scale) med 6 forskellige slamtyper (1):

	Slamtype	Konditionering	Afvanding	% TS
1	Råslam	Jernchlorid, kalk	Vacuumfilter	15-20
2	Udrådnet slam	Jernchlorid	Vacuumfilter	15-20
3	Udrådnet slam	Polymer	Sibåndspresse	20-30
4	Udrådnet slam	Klor	Slambed	50-95
5	Flotationsslam, varmebehandlet	Polymer	Centrifuge	15-20
6	Flotationsslam	Polymer	Centrifuge	25-30

Slamtyperne er kun beskrevet som i ovenstående skema. Det er ikke oplyst, om der er tale om primær og/eller biologisk slam. Slamtype 1 gav som den eneste anledning til problemer under brænding af stenene. Problemerne angives at skyldes kalktilsætningen og/eller sammensætningen af spildevandet.

Slamtype 4 blev senere afprøvet ved fuldskala forsøg. Dette slam var lufttørret på slambede, og i tørre perioder havde det et meget højt tørstofindhold.

I det følgende gives en oversigt over de anvendte slamtyper i teglproduktion.

6.1.1 Koncentreret og afvandet slam.

Når slam udtages fra de forskellige rensningsprocesser, har det et relativt lavt tørstofindhold. Der foretages derfor normalt en koncentreret og/eller afvanding af slammet, inden det slutdisponeres. Slammet har et forholdsvis højt indhold af organisk stof, der brændes væk, ved højere temperaturer.

Thomas Shaw's engelske patent af 1889, som er gengivet i bilag 3, beskriver anvendelse af slam fremkommet ved primærfældning med kalk. Der beskrives ikke nogen behandling af slammet, så det har formentlig været anvendt med lavt tørstofindhold (<10%).

Iflg. (29) har man i det tidligere Jugoslavien udført forsøg med primærslam, lagret i bassiner. Afhængig af lagringstiden kan der være sket en vis stabilisering (kold anaerob udrådning) af slammet, men slammet må nok betegnes som råslam. Tørstofindhold 6-90% afhængig af udtagningsstedet.

Egentlig produktion af Biobricks er foretaget med en blanding af primærslam og sekundærslam fra Parkway rensningsanlæg (1, 10, 11, 12). Slammet tilsættes kalk og polymer og afvandes til 20-25% TS i centrifuge.

Tilløbet til Parkway rensningsanlæg indeholder en ikke nærmere angivet mængde slam fra Patuxent vandværk, der behandler flodvand.

Det vandindhold, der er i afvandet slam, kan helt eller delvis erstatte det vand, der normalt tilsættes ved teglfremstilling.

6.1.2 Tørret slam.

Tørret slam adskiller sig kun fra afvandet slam ved, at vandindholdet er fordampet. Indholdet af organisk stof er det samme. I Singapore (3,38) foretages udrådning af både primær- og sekundærslam, og efter tørring anvendes slammet som gødning. Prøver af både tørret og brændt slam har været anvendt ved laboratorieforsøg med teglfremstilling.

6.1.3 Slam efter vådoxidation.

Ved vådoxidationsprocessen tilsættes ilt til slammet (luft eller ren ilt) og der sker en opvarmning under tryk. Afhængig af oxidationsbetingelserne nedbrydes hovedparten af slammets indhold af organisk stof, og afvandingsegenskaberne forbedres væsentligt.

I Sydafrika (36) har der gennem en årrække været produceret teglsten med tilsætning af slam. Primærslam og aktivt slam er koncentreret, blandet, behandlet i et vådoxidationsanlæg (Zimpro, 187°C, 2200 kPa) og afvandet i centrifuge efter konditionering med polymer (0,6 kg/t TS) til gennemsnitlig 35% TS.

Laboratorieforsøg er udført med slam fra vådoxidation efter Ver Tech metoden (8). En blanding af primærslam og aktivt slam er behandlet i et ca. 1200 m dybt hul ved en max. temperatur på 275°C.

6.1.4 Aske fra slamforbrænding.

Aske fra slamforbrænding består af uorganiske rester af slam og af kemi- kalier tilsat i forbindelse med spildevandsrensning og/eller slamafvanding. Det organiske materiale er brændt væk.

Afhængig af forbrændingsanlæggets udformning kan asken foreligge som meget fine partikler eller som lidt større granuler.

Slamforbrændingen foretages normalt ved 800-950°C, d.v.s. temperaturer, der ligger under askens smeltepunkt.

På Contra Costa centralrensningsanlæg forbrændes slammet i en etageovn (25). Slammet er en blanding af primærslam (tilsat lidt kalk) og aktivt slam. Slammet konditioneres med polymer og afvandes i centrifuge til ca. 22% TS før forbrænding. For at undgå støvgener ved askehåndteringen befugtes asken til et tørstofindhold på ca. 65%. Slamasken indgår i dag i en normal produktion af mursten og andre byggematerialer.

I Nagoya i Japan forbrændes stort set alt slam og en del af asken benyttes i produktion af porøse teglsten til belægningsformål (23). Asken befugtes til et tørstofindhold på ca. 85%.

Slamaske, fremstillet ved forbrænding af udrådnet slam, har været benyttet ved laboratorieforsøg udført i Singapore (4, 38, 39).

6.1.5 Smeltet slagge fra forbrænding af slam.

I Japan (31) benyttes flere steder specielle forbrændingsmetoder ("smeltemetoder"), hvor temperaturen kommer op på 1200-1500°C, og asken smelter sammen til en slagge. Afhængig af, hvordan den smeltede slagge nedkøles, fås forskellig slaggestruktur (se også afsnit 7).

Smeltemetoderne er væsentligt mere energikrævende end almindelige forbrændingsmetoder. Til gengæld fås et meget kompakt restprodukt, hvor tungmetaller er godt bundet.

Slagge kan bruges til forskellige formål, f.eks. som fyldmateriale under vejbelægnings, eller som fyld i betonsten (24, 31).

Der er ikke fundet eksempler på anvendelse i teglsten.

6.1.6 Undersøgte slamtyper contra danske slamtyper.

Alle danske rensningsanlæg skal, i henhold til vandmiljøplanen, udbygges med kvælstof- og fosforfjernelse inden 1. januar 1993.

Hovedparten af dansk slam bliver herefter aktivt slam fra lavtbelastede anlæg. Afhængig af, om fosfor fjernes biologisk eller kemisk, indeholder det aktive slam en større eller mindre del af kemisk slam. En del af de større rensningsanlæg har stadigvæk forklaringsstanke, hvor der udtages primærslam, der stabiliseres i rådnetanke.

Den i afsnit 6.1 beskrevne slamtype 3 kan godt findes herhjemme. Slamtype 6 er formentlig aktivt slam, der bare er koncentreret ved flotation i stedet som normalt ved gravitation. Denne slamtype kan derfor også sammenlignes med dansk slam.

Anlæg til tørring af slam er ved at vinde indpas på danske rensningsanlæg. I de fleste tilfælde vil det tørrede slam blive anvendt som brændsel i et efterfølgende forbrændingsanlæg, og varmen herfra benyttet i tørreprocessen (6.1.2).

I Danmark findes der p.t. to slamforbrændingsanlæg af typen etageovn. Den aske, der produceres her, kan sammenlignes med det i (25) beskrevne, jvf. afsnit 6.1.4. Herhjemme tilsættes dog ikke kalk, men kalkindholdet i vandet er højt i Danmark.

Slam fra de øvrige slambehandlingsmetoder (vådoxidation, smelteprocesser) findes ikke i Danmark for øjeblikket.

Der er ikke fundet undersøgelser udført med aktivt slam fra kvælstof- og fosforfjernende rensningsanlæg. Set med danske øjne er det meget relevant at få undersøgt sådanne slamtypers egenskaber som råmateriale ved tegl- fremstilling.

6.2 Vandværksslam.

I Santa Clara Valley har man gennem 2½ år benyttet slam fra drikkevandsbehandling til fremstilling af teglsten (16,30).

Ved drikkevandsbehandlingen benyttes aluminiumsalte som fældningsmiddel, og slammet består derfor overvejende af aluminiumforbindelser (55% som Al_2O_3). Jernindholdet svarer til 11% jernoxid, og indholdet af organisk stof er ca. 23%.

Slammet konditioneres med anionisk polymer og afvandes i sibåndspreser til 22-28% TS. Da det viste sig, at man ved højere tørstofindhold kunne erstatte en større del af leret med slam, blev der indført et tørringstrin, hvor det afvandede slam lufttørres på et slamlager til 60-80% TS. Slammet vendes med få dages mellemrum.

Aluminiumholdigt vandværksslam forekommer i Danmark ved behandling af overfladevand (Sjælsø, Regnemark). I det omfang det er muligt, benyttes grundvand til drikkevandsfremstilling, og slammet herfra er overvejende jernhydroxydslam. Aluminiumsalte benyttes også enkelte steder ved behandling af specielle grundvandstyper.

Der er stigende problemer med at komme af med slammet fra drikkevandsbehandling, så genanvendelse i f.eks. tegl bør overvejes nærmere.

6.3 Slam fra industrier.

Som slam fra industrier regnes både slam, der forekommer som et biprodukt i selve produktionsprocessen, og slam fremkommet ved rensning af industrispildevand.

6.3.1 Slam fra papirindustri.

Slam fremkommet ved, at spildevand fra oparbejdning af returpapir er ledt gennem bundfældningstanke, er i Italien undersøgt ved både laboratorie- og fuldskalaforsøg (45, 46). Der foretages mekanisk afvanding af slammet til 45-50% TS. Spildevandet fra 30 fabrikker samles og behandles i ét anlæg. Det

producerede slam må derfor forventes at have rimeligt konstante egenskaber (uafhængige af produktionssvingninger på en enkelt fabrik). Der oplyses ikke noget om kemikalietilsætning ved bundfældning og/eller afvanding.

I Finland er udført forsøg med slam fra forskellige typer af papirproduktion (17). Slammet er fremkommet ved bundfældning, og det afvandes mekanisk inden anvendelse. Papirproduktionsprocessen er afgørende for slammets sammensætning (højt/lavt indhold af harpiks og fyldstoffer).

Affald fra træforarbejdning indeholdende bark m.m. har været afprøvet ved teglfremstilling i Tyskland (35).

På papirfabrikkerne i Danmark produceres der slam ved, at produktionsspildevandet, især fra oparbejdning af returpapir, ledes gennem bundfældningstanke. Der er ikke tale om de store slammængder.

En del papirfabrikker har desuden biologiske rensningsanlæg, hvor der produceres en del aktivt slam.

6.3.2 Slam fra vask af grus.

Grus fra grusgrave har større eller mindre indhold af ler og silt. Når gruset vaskes, dannes der slam, der indeholder dette finkornede materiale. Den kemiske sammensætning af materialet varierer fra sted til sted med de geologiske forhold. Der er ofte tale om store mængder slam.

I Australien (9), Tyskland (33) og Schweiz (5) er forskellige slamprøver afprøvet i laboratorieforsøg med godt resultat. Mulig tilsætningsmængde afhænger af slamsammensætningen. Slammet bør afvandes inden anvendelse.

6.3.3 Slam fra galvaniseringsanstalter.

På galvaniseringsanstalter renses spildevandet normalt ved kemisk fældning, og der dannes uorganisk slam med høje indhold af tungmetaller (Ni, Zn, Cr, m.m.).

Slammet forekommer i forholdsvis små mængder, der afvandes og deponeres i specialdepoter. Slammet kan anvendes i teglsten (6) og andre keramiske materialer som f.eks. fliser (32). Tungmetallerne bindes, jvf. afsnit 12.

Lignende slam produceres på danske galvaniseringsanstalter, men i små mængder.

6.3.4 Slam fra andre industrier.

Eksempler på anvendelse af garverislam (18), slam fra kemisk industri (6) og værkstedsslam (42).

6.4 Slam fra havne og floder.

Ved oprensning af havne og floder produceres store mængder slam, der ofte er kraftigt forurenet med organisk stof, tungmetaller, olie m.v. I Holland (14, 15) har man udført forsøg med at erstatte en del af leret i teglsten med havneslam. Man har desuden lavet en "fabrik", hvor ler produceres ved, at opgravet materiale hældes ud på et inddæmmed areal.

Dette ler har vist sig meget velegnet i teglproduktion.

Det er en væsentligt fordel, at slammets tungmetalindhold bindes ved brændingen, jvf. også afsnit 12.

Forurenet, tungmetalholdigt slam opgraves også i danske havne. F.eks. overvejes forskellige (komplicerede) løsninger på fjernelse af tungmetaller fra slam fra Københavns havn.

7. EGENSKABER SOM KERAMISK RÅMATERIALE.

Ønsker man at anvende slam eller brændt slam som råvare i teglfremstilling, er det vigtigt, at materialet bedømmes som en normal råvare med de krav, der normalt stilles til en sådan.

Slam er et materiale med højt vandindhold og karakteristiske rheologiske egenskaber. De egenskaber, der har betydning ved teglfremstilling, er knyttet til tørstofindholdet:

- kemisk sammensætning, både hovedkomponenter og stoffer, der findes i mindre mængde, men giver risiko for skader, f.eks. salte.
- mineralogisk sammensætning.
- kornstørrelsesfordeling.
- energiindhold.

I en del beskrivelser af selv store forsøg ses ingen oplysninger om slammets sammensætning (1, 19, 20).

Af og til opgives indholdet af stoffer, der er kritiske m.h.t. spildevandsbehandling, mens hovedkomponenterne ikke er nævnt (6, 8, 29, 17, 36).

Gruslam består næsten udelukkende af mineralske stoffer som kvarts, calcit, feldspat, dolomit og lerminerale, d.v.s. stoffer, der i forvejen indgår i teglværksler. Der kan registreres store forskelle i gruslam fra forskellige forekomster både m.h.t. kemisk og mineralogisk sammensætning og m.h.t. kornstørrelsesfordeling og smelteforhold (5, 9, 33).

Papirslam kan indeholde meget kaolin og calcit, de normale mineralske fyldstoffer i papir, som også findes i teglværksler (45).

I vandværksslam opgives høje indhold af aluminiumoxid (55%) og jernoxid (11%), (30), det må her forventes, at tegl indeholdende denne slamtype vil kunne brændes ved højere temperatur og blive mere farvet.

En vigtig parameter er variationerne i slammets sammensætning. Der ses variationer i spildevandsslams sammensætning, der åbenbart følger årstid og (regn-)vejr, og som har betydning for brændt slams anvendelighed i tegl (23).

Brændt slam kan ofte sammenlignes med normale keramiske råvarer, og betegnes som silikatmaterialer (23, 25, 26, 31, 44).

I Japan er der udviklet metoder, hvor slammet brændes ved så høj temperatur (1200-1500°C), at der dannes en smelte. Udover af sammensætning og toptemperatur bestemmes materialets egenskaber af kølemetode og -hastighed: chokkøling i vand giver et glasagtigt, finkornet materiale med glat overflade, luftkøling giver en massiv glas og langsom køling eller genopvarmning giver et krystallinsk materiale (31).

Til karakterisering af slamtyperne i en keramisk sammenhæng anvendes i en del tilfælde termiske analysemetoder, f.eks. termogravimetri (TG) og differentialtermisk analyse (DTA) (45, 9). Disse metoder viser noget om vægtændringer, fasetransformationer og energikrævende eller energiudviklende processer og anvendes i forvejen til undersøgelse af keramiske råvarer.

8. TEGLFREMSTILLING.

8.1 Forsøgsform.

I de fleste referencer beskrives forsøg, hvor teglfremstillingen er sket på laboratorie eller pilotanlæg. Teglstene fremstilles da normalt i små størrelser, f.eks. 40*20*10 mm (38, 39, 42). Ved undersøgelser af sådanne teglstens egenskaber skal man være opmærksom på, at især styrketallene er dimensionsafhængige. Jo mindre genstande, der fremstilles, jo større styrker kan der opnås. Det er derfor nødvendigt at have referenceprøver med (39). Styrker fundet med små prøvelegemer kan ikke bruges til sammenligning med standardkrav til mursten i normalformat, som det sker i en del tilfælde (39). Laboratorieforsøg, der angiver egenskaber af mindre partier i små dimensioner, kan også kun give ideer om, hvad materialet vil kunne anvendes til i praksis (8, 19, 20).

I en del tilfælde er man gået videre og har fremstillet et prøveparti i normalformat på normalt teglværksudstyr (1, 45, 46). Partistørrelsen har f.eks. været 50.000. Sådanne forsøg giver også mulighed for at afprøve teglstene, dels i praksis, dels over for anerkendte standarder.

I nogle enkelte tilfælde har der været tale om anvendelse af slam i reel teglproduktion.

- En produktion på 500.000 sten kan evt. regnes som sådan (1, 11, 12).
- Et værk med en årsproduktion på 14 mill. sten anvender vandværks-slam i 2,5 år (16, 30).
- I Sydafrika har et værk over 12 år fremstillet 120 mill. sten med spildevandsslam (36).
- I Jugoslavien har et værk i en periode fremstillet mindst 6.3 mill. sten med spildevandsslam (29).

I enkelte tilfælde er der ingen oplysninger om fremstillingsmetode, råvarer, temperaturer etc. (32).

8.2 Patenter.

Der foreligger en række patenter på anvendelse af slam i tegl eller lignende materialer (19, 20, 27, 28, 44). Det fremgår ikke altid, om der ligger forsøg til grund, men patenterne kan være baseret på laboratorieforsøg (19, 20).

Det ældste patent på området er som før nævnt engelsk og fra 1889, jvf. bilag 3.

8.3 Produkttyper.

Det normale produkt er mursten, men også en række andre keramiske produkter er forsøgt fremstillet med anvendelse af slam. Det kan dreje sig om belægningssten (19, 20, 23), fliser og finkeramik (26).

Tagsten med vandværksslam fik forkerte farver og for ringe styrke (16).

Muligheden for fremstilling af ny produkttyper nævnes (17).

8.4 Andre områder.

I undersøgelserne anvendes stort set altid de normale råvarer i den lokale teglproduktion. Der gøres opmærksom på, at det kun er realistisk at anvende lokale lertyper, når/hvis slam skal udnyttes til teglfremstilling (29).

8.5 Blanding/lagring.

I produktionsforsøg og reelle produktioner gøres en del erfaringer m.h.t. lagring og blanding, når slam anvendes i teglproduktion.

Vandindholdet er afgørende for slams anvendelighed (46), det kan blive nødvendigt med udstyr til afvanding.

Slam kan optage vand ved lagring (1).

I nogle tilfælde kan konventionelt opberedningsudstyr anvendes uden problemer (27,36).

I andre tilfælde optræder problemer med klumpning og inhomogenitet (16,30,45,46). Iblanding af slam kræver øvelse af operatørerne (1).

Hvor i procesgangen slammet blandes i, er afgørende (45). Pumpning direkte i vacuumstrengpresser er en mulighed (1).

8.6 Formgivning.

I laboratorieforsøg og pilotforsøg anvendes strengpresning (42) eller en form for tørpresning i de tilfælde, hvor formgivningsmetoden er oplyst.

I de tilfælde, hvor der er tale om produktionsforsøg eller reel produktion, anvendes strengpresning, hvor formgivningsmetoden er oplyst (1,12,29,36, 45).

8.7 Tørring.

Egentlige problemer ved tørringen omtales ikke, i enkelte tilfælde siges direkte, at der ikke er problemer (45).

Tilsætning af slam kan give et større tørringssvind (9, 29).

8.8 Brænding.

I laboratorieforsøg anvendes normalt små, gerne elopvarmede ovne. Det sker, at der ikke opgives andet om brændingen end toptemperaturen (38, 42).

I de fleste tilfælde ligger toptemperaturen i det normale område for tegl 900-1100°C. Til sammenligning kan nævnes, at teglsten i Danmark normalt brændes ved 1000-1060°C, lavest for røde sten, højest for gule.

I en række tilfælde brændes ved flere forskellige temperaturer, så man kan bestemme forskellige teglegenskabers afhængighed af temperaturen, når der anvendes slam.

Brændingskurver vises kun i få tilfælde. I reel produktion ændredes brændingskurven ved tilsætning af slam, idet bortbrænding af slammets organiske indhold medførte en hurtig temperaturstigning i området 150-800°C (36). Det gav i øvrigt mulighed for at øge skubbehastigheden og dermed produktionen.

Ved produktionsforsøg nævnes, at fuldstændig fyldning af ovnen med slamholdigt gods er en betingelse for bedømmelse af virkning (46).

8.9 Energiindhold.

I en række artikler gøres opmærksom på, at uforbrændt slam kan have et energiindhold, der kan udnyttes ved brænding af tegl (29, 37, 46).

I produktionsforsøg og reelle produktioner finder man også, at slamtilsætning mindsker forbruget af de indfyrede brændstoffer: kul, olie og gas. Der opgives konstaterede brændstofbesparelser på 10% (29), 24% (46) og 69% (36).

Der opgives en del brændværdier for slam: spildevandsslam 4700 kcal/kg tørstof (19), papirslam 1600-1900 kcal/kg tørstof (46).

Brændværdien af slam er meget afhængig af slammets sammensætning. Slam fra kommunale rensningsanlæg med kvælstof- og fosforfjernelse har en brændværdi på 5.200 kcal/kg glødetab. Glødetabet er afhængig af rensningsprocessen og ligger typisk i området 55-70% af tørstof.

Det er usandsynligt, at slammets totale energiindhold vil kunne udnyttes i en tunnelovn. En stor del af forbrændingen må forventes at ske relativt tidligt, f.eks. ved 400-500°C, på et sted i ovnen, hvor behovet for energitilførsel ikke er stort. I et produktionsforsøg findes, at slammet teoretisk kan bidrage med 37% af energiforbruget, mens det reelt kun bidrager med 24% (46). I et andet tilfælde opgives, at 1/3 af slammets energiindhold kan forventes udnyttet (15).

Energiindhold i teglværksler kan også give produktions- og kvalitetsmæssige problemer f.eks. opblæring og dannelse af reduktionskerner. En artikel opgiver, at 5% kulstof i forhold til mængden af brændt tegl er nødvendigt til brændingen, men kun 2.5% kan tolereres ved brænding i tunnelovn(43). Der er gennemgået problemstillinger ved energisubstitution i teglbrænding og de mulige løsninger (22).

Der er principielt to metoder til udnyttelse af slams energiindhold ved teglbrænding. Udover til iblanding i leret kan slammet også udnyttes som indfyret brændstof (45). Forsøg med direkte indfyring gav alvorlige problemer med askeophobning på sporene (36).

8.10 Slamindhold.

Hvilke slamindhold i tegl, der i givet fald må anses for optimale, må afhænge af formålet.

Hvis teglmaterialet skal kunne sælges, ikke bare anvendes, skal slamprocenten være den, der giver de bedste teglegenskaber, evt en procent, der giver acceptable egenskaber.

Hvis der ved anvendelse af slam i tegl skal bortskaffes betragtelige slammængder, skal slamindholdet have en vis størrelse. I den forbindelse kan nævnes, at den årlige danske teglproduktion er af størrelsesordenen 800.000 t.

Der nævnes slamindhold fra 2,5% til 90%, hyppigst fra 2,5% til 10%.

I reel produktion er der anvendt 30% spildevandsslam i normale sten, 5-8% i facadesten (36). 15 - 30 - 50 % spildevandsslam er anvendt i reel produktion (1). Papirslam er anvendt i 5 og 7.5% (45,46).

Hvor meget brændt slam, der kan anvendes, kan afhænge af smelteligheden (23).

9. FÆRDIGVAREEGENSKABER.

9.1 Trykstyrke.

I de fleste tilfælde konstateres, at styrker (trykstyrke eller bøjetrækstyrke) falder med stigende slamindhold (38, 39, 1, 15, 46, 29).

En sammenligning mellem brændt og tørret spildevandsslam viser, at tørret slam giver størst fald i styrkerne (3).

Tilsætning af grusslam kan give en øget styrke (9).

Slam fra galvanisering kan øge bøjetrækstyrken, organisk slam kan nedsætte den (6).

De opnåede styrker kan sammenlignes med standarder (36). I et tilfælde kan materialet ikke leve op til standardens krav p.gr.a. enkelte meget lave resultater, formentlig skyldes det dårlig blanding (29).

9.2 Densitet.

Generelt falder densiteten af teglmaterialet, når der anvendes slam (9, 1, 46).

Lav densitet giver teglet en bedre isoleringsevne, det udnyttes f.eks. i Tyskland, og nævnes også som fordel i forbindelse med anvendelse af slam (12, 35).

Der nævnes muligheden af at fremstille meget lette teglmaterialer (17).

Vandoptagelsen er normalt relateret til densiteten, og der kan iagttages stigende vandoptagelse ved slamtilsætning (1, 38, 39).

Som noget mere specielt kan nævnes, at der kan fremstilles permeable belægningssten, som ikke bliver glatte og som køler p.gr.a. fordampning (pool-side pavement) (23).

9.3 Farvning.

Nogle slamtyper kan påvirke teglfarven. Vandværksslam gav forøget farvning (16). Spildevandsslam gav spændende farvevariationer (1). Havneslam gav nye farvemuligheder (14).

I nogle tilfælde konstateres, at farven er i orden (36, 25, 42).

9.4 Misfarvning.

Misfarvning af tegl skyldes f.eks. opløselige salte afsat på stenenes overflade under tørringen, eller overfladereaktioner med bestanddele i ovnatmosfæren under brændingen. Højt saltindhold i slam kan derfor give risiko for misfarvning.

Alvorlige misfarvninger konstateres fra grusslam (9).

Papirslam giver i et tilfælde kun lidt misfarvning (45).

Ved fremstilling af stentøjsrør ses skumning, formentlig p.gr.a. sulfat (25).

Opløselige salte tilsat ved slambehandling, f.eks. aluminiumsulfat kan tænkes at udgøre en risiko (35).

To-lagsmaterialer anvendes bl.a. for at undgå misfarvning (20).

Aluminiumsslam gav udblomstringer p.g.a. svovlindhold (42).

10. ARBEJDSMILJØ.

Arbejds miljøproblemer nævnes stort set ikke i den fundne litteratur.

I konklusionen på fuldskalaforsøgene i Maryland (1) nævnes, at personalets kontakt med slammet må vurderes, men der nævnes ingen problemer.

(27) nævner, at man ved tilsætning af spildolie reducerer lugten fra slammet. Samme patent foreslår, at teglfremstillingen skal være automatisk.

Kun i et enkelt tilfælde nævnes, at der var lettere lugtproblemer, nemlig ved anvendelse af havneslam fra Rotterdam (15).

Lugtproblemer kan ikke helt undgås ved håndtering af slam. Ved at anvende stabiliseret slam, og gøre slammets lagringstid så kort som mulig, kan lugtgener minimeres.

Ved anvendelse af tørret slam eller slamaske befugtes det med vand for at undgå støvproblemer.

Teglværkspersonalet må, hvis det skal arbejde med slam fra kommunale rensningsanlæg, vaccineres mod stivkrampe og polio på samme måde som rensningsanlægspersonale.

11. LUFTFORURENING.

Hvis slam anvendes til teglfremstilling, vil det blive opvarmet til temperaturer over 1000°C. Ved forbrændingen af slammet vil der dannes gasarter, som vil blive emitteret til atmosfæren med røggassen. Forbrændingen vil kunne sammenlignes med den, der sker i et slamforbrændingsanlæg. Men dannelsen af gasarter vil kunne ske under hele opvarmningen, f.eks. i intervallet 20-1020°C da godset i tunnelovnen bevæger sig i modstrøm med luften, og røggassen trækkes tæt ved indgangsenden. Gasarter, der dannes f.eks. ved 300°C, vil derfor ikke blive varmet yderligere op.

Større emissioner af SO₂ og organiske forbindelser konstateres i et produktionsforsøg (46).

Store koncentrationer af ammoniumchlorid i røggas og aflejringer af ammoniumchlorid i røggaskanaler ses i en reel produktion. Det problem blev løst med en slamfyret efterbrænder, der leverer varme til tørringsanlæg (36).

Chlorid kan give problemer, men tungmetaller emitteres stort set ikke (15).

Halogener kan gøre metaller mere flygtige (6).

Der vil også være mulighed for luftforurening under tørringen. En termogravimetrisk analyse af 10% garverislam og 90% ler viste meget små koncentrationer af organiske stoffer ved tørringstemperatur, mens der ved brændingstemperatur var forhøjede koncentrationer af organiske stoffer og tungmetaller (18).

Der nævnes en mulighed for at undgå lugtproblemer fra tørringsanlæg ved at anvende afgangsluften som brænderluft i ovnen (27, 28). Hertil skal bemærkes, at på et teglværk svarer afgangsluften fra tørringsanlægget til 10-20 gange mængden af brænderluft til ovnen, og at en forøgelse af mængden af brænderluft vil give et øget energiforbrug i ovnen.

12. BINDING AF TUNGMETALLER.

Alt slam har et vist indhold af tungmetaller. I kommunalt slam er indholdet som regel lavt, men afhængig af rensningsanlæggets industritilløb. I slam fra industrier (f.eks. galvaniseringsanstalter, metalforarbejdende virksomheder og garverier) kan indholdet være endog meget højt.

I forbindelse med vurdering af slams egnethed til teglproduktion er det vigtigt at vurdere, om tungmetalindholdet kan give problemer p.g.a. udvaskning, både under anvendelsen (facadesten, belægningssten) og ved evt. senere deponering af byggeaffald.

En række artikler beskriver, at slammets tungmetalindhold bindes effektivt i teglsten (2, 17).

I USA har man i forbindelse med "Biobricks" (2) undersøgt, hvilken betydning teglstenens indhold af forskellige tungmetaller har på udvaskningen med syrerregn.

Stenene blev tilsat slam med forholdsvis høje metalkoncentrationer, og desuden blev der tilsat tungmetaller op til 1000 ppm i stenene før brænding ved 1050°C. Udvasningsforsøg blev lavet ved, at stenene i 7 døgn skiftevis var neddyppet i væske og oppe til tørring i 2 timer ad gangen. Som væske blev benyttet eddikesyre ved henholdsvis pH 2,5 og 5.

For Zn, Pb, Cr og Ni sås ingen forøgelse af metalkoncentrationen i væsken ved stigende indhold i teglstenen. For As, Se og Cd var der en vis udvaskning.

Anvendelse af forskellige oplukningsmetoder i forbindelse med analysering af tungmetalindholdet i de brændte sten indikerer, at metallerne er bundet i stenenes glasfase.

I de fundne artikler anvendes forskellige metoder til bedømmelse af den mulige udvaskning af tungmetaller, og de giver forskellige resultater.

Som refereret i (32) giver en EPA-metode (Environmental Protection Agency, USA), som udvasker knust teglsten i 24 timer i vand med pH 5, væsentligt højere tal for udvaskning, end metoder hvor hele sten neddyppes i vand med samme pH-værdi. Bindingen af Ni betegnes som god. Bindingen af Cr angives at være acceptabel, men afhængig af stenens slamindhold (32).

Som basis for et patent til fiksering af tungmetaller (21) har man lavet forsøg med uorganisk slam med høje indhold af Co, Ni og Zn, og forskellige lertyper. Opløseligheden af metallerne

nedsættes væsentligt, når stenene brændes (90-99%). I nævnte patent (21) beskrives en metode, hvor slam og ler blandes, formes til små kugler og brændes i en roterovn. De brændte kugler kan så bruges til forskellige konstruktionsmaterialer.

Ved anvendelse af slamaske i letklinker (25) er metaludvaskningen undersøgt i henhold til californiske metoder. Ved tilsætning af 5% aske sås en forøgelse af udvaskningen af As, Ba og Zn, mens der ikke sås nogen forøgelse for de andre metaller. Asken havde et forholdsvis lavt metalindhold og var i sig selv i stand til at overholde de gældende regler m.h.t. metaludvaskning.

Slam fra en galvaniseringsanstalt med høje indhold af Cu, Cr, Zn og Ni er anvendt ved teglstensfremstilling i laboratoriet (6). Bedømt ved udvaskningsforsøg efter EPA-metoden er metalbindingen komplet.

Ved udvaskning af slam alene udvaskes store metalkoncentrationer. For sten med op til 13% slamindhold ses ingen forøgelse i forhold til sten uden slam. Den komplette metalbinding angives at skyldes dannelse af spineller og andre stabile forbindelser ved de høje brændingstemperaturer.

Metaludvaskningen fra tegl med havneslam fra Rotterdam er undersøgt (15). Ved de to anvendte metoder var der ingen forøgelse af udvaskningen af Cd, Mn, Pb og Zn, hvorimod udvaskning af Cr og Cu forøges.

Ved almindelig slamforbrænding sker der en vis binding af tungmetaller, men tilsætning af fikseringsmidler, som cement og silikater forøger bindingen væsentligt.

Smeltning af slagge (24) skulle give en god binding af tungmetaller.

13. SLAM I ANDRE BYGGEMATERIALER.

13.1 Letklinker

Aske fra forbrænding af slam fra kommunale rensningsanlæg har ved laboratorieforsøg (4) og fuldskalaforsøg (25) vist sig anvendelig til produktion af porøse letklinker. Klinkerne kan, evt. efter passende knusning, bruges i betonprodukter. Også i Tyskland (13) er der lavet forsøg med fremstilling af klinker.

13.2 Tilslagsmateriale til beton.

Slamaske kan også bruges direkte som tilslagsmateriale i beton (39). Op til 20% tilsætning er afprøvet med godt resultat i laboratorieforsøg. Knust slagge fra japanske smelteprocesser anvendes i betonsten til belægning af fortove, gangarealer m.m. (24, 31).

13.3 Cement

Cement kan fremstilles ud fra tørret slam, der knuses, tilsættes kalk og brændes (40, 41). Forskellige slam-kalk-forhold og forskellige brændetider er undersøgt. Et slam-kalk-forhold på 1:1 og brænding i 4 timer ved 1000°C giver cement med højeste tryk-styrke. Denne cement overholder ASTM normen for cement til almindeligt murerarbejde.

13.4 Kalksandsten

Aske fra forbrænding af slam fra papirfabrikker kan anvendes i kalksandsten, og angiveligt forbedre stenens egenskaber m.h.t. følsomhed overfor fugt (44). Aske med passende højt indhold af CaO, SiO₂ og Al₂O₃ er at foretrække.

13.5 Isoleringsprodukter

Slam fra vask af grus er forsøgt anvendt til produkter som skumglas og mineraluld (5). Afhængig af slammets sammensætning er det nødvendigt at tilsætte forskellige stoffer. Ved skumglas tilsættes affalds-glaspulver og SiC for at opnå den ønskede opskumning.

14. ANDRE SPILDMATERIALER I TEGL.

Slam er ikke det eneste spildmateriale der anvendes eller er forsøgt anvendt i teglfremstilling.

I en oversigt over spildmaterialer anvendt i teglindustri skelnes mellem plastificerende stoffer, der giver bedre formgivnings-egenskaber og øger råstyrken, magringsmidler, der mindsker tørringssvind og letter vandtransport under tørringen, og farvende stoffer (37). Plastificerende stoffer kan f.eks. være flyveaske, slam fra aluminiumproduktion og raffinaderier samt bentonit. Magringsmidler kan f.eks. være forskellige typer slag-ger, metalhydroxidslam fra galvanisering, savsmuld og knust glas. Disse stoffer kan have den fordel fremfor det normale danske magringsmateriale kvarts- sand, at de ikke undergår pludselige dimensionsændringer under brændingen. Det giver en mulighed for at undgå de revnedannelser, der skyldes kvarts- sands fasetransformation ved 573°C.

I undersøgelsens artikler nævnes muligheden for at tilsætte spildolie sam- men med slam (27, 28), og aske fra affaldsfor- brænding (7).

Som spildmaterialer, der kan give et energitilskud nævnes biomasse (sav- smuld, olivenskaller), petrokoks, flyveaske, gummistøv, tekstilaffald, termoplastiske materialer og slam fra olieeftersøgning (45).

15. ANVENDELSE AF FÆRDIGVARER.

Hvis større mængder slam skal kunne genanvendes i teglproduktion, skal de fremstillede produkter kunne afsættes. Afsetningen kan ske i form af kendte produkter med uændrede egenskaber, eller i form af nye produkter, hvor ændrede egenskaber kan udnyttes.

Sten fremstillet ved produktionsforsøg på teglværker og ved reelle produktioner er anvendt på forskellige måder.

"Biobricks" (1, 10, 11, 12) er i kommunalt regi anvendt til 2 "picnic" huse i parker og til større maskinhuse på rensningsanlæg. Resten af de fremstillede sten er forsøgt solgt på normal vis.

I en del tilfælde har slamproducenten aftaget stenene (13, 31).

Til demonstrationsformål er porøse belægningssten (23) anvendt til belægninger på pladser og fortove, samt rundt om svømmebassiner. Det refereres, at stenene havde gode egenskaber og blev godt modtaget af offentligheden.

I de tilfælde, hvor slam indgår i reelle produktioner (16, 30, 29, 36) må stenene være brugt på almindelig vis. I referencerne er der ikke fundet oplysninger om anvendelserne.

16. GENERELLE PROBLEMSTILLINGER.

I artiklerne skinner det igennem, at problemstillingerne kan anskues fra to principielt forskellige synsvinkler: slamproducentens og teglproducentens.

For slamproducenten virker anvendelse af slam i tegl tillokkende: man slipper for at deponere så store mængder, slammet gør nytte både som materiale og energitilskud.

For teglproducenten virker det knap så tillokkende; der er åbenbare kvalitetsproblemer, der kan være problemer med luftforurening og arbejdsmiljø, og det kan blive nødvendigt med investeringer f.eks. til blandeudstyr (15). Problemerne, eller blot risikoen for dem, vil let opveje en evt. økonomisk gevinst.

Selv i et tilfælde, hvor anvendelsen af slam siges at være relativ succesfuld, gøres der opmærksom på, at det har størst interesse for slamproducenten (29).

Problemstillingen gælder ikke kun slam, men principielt alle spildmaterialer, der ønskes anvendt i teglindustrien.

Der kan være krav om, at slammet skal have en særlig forbehandling, f.eks. tørring, før det kan anvendes i tegl (14). I et tilfælde gik anvendelsen af slam i tegl i stå, p.g.a. uenighed om, hvem der skulle stå for slamtørringen (30).

Der ser også ud til at være problemer med at få afsat teglmaterialer, hvortil der er anvendt slam. I en del tilfælde aftager slamproducenten selv stenene (13, 31). Man prøver at gøre materialerne tillokkende med betegnelser som "Biobricks" (1).

Der er kun få beskrivelser af den senere anvendelse af stenene, og i så fald er der tale om en form for demonstrationsformål (23). I de få tilfælde med store reelle produktioner må stenene være brugt på almindelig vis (29, 36).

17. KONKLUSION.

Det er teknisk muligt at anvende slam i teglproduktionen. Hvor meget, der kan tilsættes, afhænger af slam- og produkttype, men formentlig vil en slamtilsætning på 5-10% på tørstofbasis være realistisk.

Slammet skal være bearbejdet til en form, så det kan indgå i teglproduktionen uden væsentlige problemer. Der kan være tale om afvanding eller tør-ring. Det skal sikres, at slammets egenskaber holdes konstante.

Slammet må af hensyn til teglmaterialets renommé ikke give nogen lugtproblemer, hverken på teglværket eller i omgivelserne. Derfor skal slammet være stabiliseret. Ved anvendelse i kendte produkter skal tilsætningen afpasses, så produkternes egenskaber ikke forringes.

Der er ingen undersøgelser af de nye slamtyper fra rensningsanlæg med kvælstof- og fosforfjernelse. Hvis de skal indgå i teglproduktionen, vil der derfor være behov for at undersøge, hvilke muligheder der er for integrering af slambehandling og teglproduktion.

Mulighederne for at slamproducenter selv står for teglproduktionen, har været nævnt. I så fald bør produktionen være automatiseret med korte gennemløbstider.

Luftforurening kan øges ved anvendelse af slam. Om det er tilfældet, bør undersøges ved målinger under fuldskalaforsøg.

Tungmetaller vil kunne bindes i teglmaterialet under brændingen. Risikoen for, at disse metaller frigøres fra teglet senere, må sammenlignes, dels med risikoen for, at de blev frigjort, hvis de ikke sad i tegl, dels med den normale risiko for frigørelse af tungmetaller fra tegl.

Arbejdsmiljøproblemer skal være forudset og løst før egentlig produktion sættes i gang.

Endelig bør man vurdere markedspotentialet og tekniske muligheder for at lade slam indgå i nye produkter, hvor ændrede egenskaber kan accepteres.

18. REFERENCER.

1. **Alleman, J.E. and Berman, N.A.:**
"Constructive Sludge Management: Biobrick".
Journal of Environmental Eng., Vol 110, No 2, April 1984.
2. **Alleman, J.E., Bryan, E.H., Stumm, T.A., Marlow, W.W. and Hocevar, R.C.:**
"Sludge - Amended Brick Production: Applicability for Metal-laden Residues".
IAWPRC Sludge Management Conference, Los Angeles 1990.
3. **Aziz, M.A. and Tay, J.H.:**
"Energy and Useful Materials from Wastes. The Singapore Case".
Solid Waste Treatment.
Proc. - Pac. Chemical Engineers 3rd Congress, p 364-370, 1983.
4. **Aziz, M.A. and Koe, Lawrence C.C.:**
"Potential Utilization of Sewage Sludge".
IAWPRC Sludge Management Conference, Los Angeles, 1990.
5. **Bayer, G. and Iberg, R.:**
"Sinter - und schmelz verhalten von Kiesschlamm, ein potentieller Rohstoff für Gläser und Keramik".
Conference on Silicate Industry and Silicate Science, 1985.
6. **Bonomo, L., Borzzini, G. and Giugliano, M.:**
"Recycling of Industrial Sludges in the Production of Bricks".
International Recycling Congress, p 384-389, 1982.
7. **Bortz, S.A. and Schwartz, M.A.:**
"Recycling Wastes for Structural Applications".
J. of the Engineering Mechanics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, p 249-260, 1973.
8. **Bowers, D., Wong, K.P., Brosnan, D.A. and Schwayer, W.L.K.:**
"The VerTech Aqueous - Phase Oxidation Process".
Water Environment & Technology, p 64-68, November 1991.

9. **Bowman, R. and Crook, D.N.:**
"Sand Washing Wastes for Use in the Heavy Clay Industry".
Proceedings - Aust. Ceram. Conf., p 65-70, Vol 8, 1978.
10. **Bryan, E.H.:**
"Appropriate Technological Innovation in Constructive Management of Sludges derived from Treatment of Wastewater".
Inst. Civil Engineers (Thomas Telford) World Water 89 Managing the future - learning from the past, London, UK, p 187 - 194, November 14 - 16, 1989.
11. **Bryan, E.H.:**
"Biobricks become a Construction Reality".
Water/Engineering and Management, Vol 131, No 3, March 1984.
12. **Bryan, E.H.:**
"Research Applied to Conversion of Industrial Wastes into Resources".
J. Research Management & Technology. p 19-22, Vol 14, No 1, June 1985.
13. **Calmano, W. und Förstner, U.:**
"Schadstoffe im Baggergut".
Umwelt, Düsseldorf, p 124-127, No. 3, 1987.
14. **de Gast, J. and van Oostrum, W.H.A.:**
"Clay, a Silt Product".
Land and Water International (NL), p 3-10, No 50, 1983.
15. **de Jonge, L.S.:**
"Harbour Sludge for Brick Production".
Ziegelindustrie International, p 145-150, 3/1980.
16. **Dean, G.T., Yep, R. and Hunt, C.:**
"Comprehensive Sludge Management Succeeds in Santa Clara, California".
Proc. Annual Conference, American Water Works Association, p 1167-1193, 1990.
17. **Fineman, I., Helge, K. och Söderhjelm, L.:**
"Fiberslam - en intressant råvara".
Svensk Papperstidning, p 110-113, No 4, 1978.
18. **Giugliano, M., Paggi, A., Porcaro, A. and Cassingena, F.:**
"Tannery Sludge Recovery in Brick Production".
In sorting of Household Waste and Thermal Treatment of Waste.
U.K. Elsevier Appl. Sci. Publishers Ltd., 1985.

19. Hashimoto, R. and Iwata, M.:
 "Process for Producing Ceramic Products Using the Sludge Obtained by Sewage Treatment".
 United States Patent, No 4,874,153, October 1989.
20. Hashimoto, R. et al:
 "Process for Producing a Ceramic Product using Sludge Ashes".
 United States Patent, No 5,008,053, April 1991.
21. Johnson, B. and Rubenstein, C.B.:
 "Process for the Chemical Bonding of Heavy Metals from Sludge in the Silicate Structure of Clays and Shales in the Manufacture of Building and Construction Materials therewith".
 United States Patent, No 4,882,067, November 1989.
22. Junge, Karsten:
 "Energy Substitution in Brick Firing".
 Ziegelindustrie International, p 391-396, No 8, 1984.
23. Kamata, Osamu:
 "Effective Utilization of Sewage Sludge. Development of Permeable Brick with Incinerated Sludge residue".
 IAWPRC Sludge Management Conference, Los Angeles, 1990.
24. Kanezashi, T. and Murakami, T.:
 "Regional Response eases Disposal Crisis".
 Water Quality International, p 28-30, No 3, 1991.
25. Kelly, J.M. and Babu, R.:
 "Sludge Ash Reuse: Details of a Successful Program".
 WPFC 64th Annual Conference and Exposition, Toronto, October 7th-10th, 1991.
26. Koval'chuck, A.S. and Klyuevskaya, V.M.:
 "Processing of Etching Sludges".
 Khim. Teknol., Kiev, p 105-106, No 1, 1991.
27. Lingl, H.:
 "Method of using Sludge for Making Ceramic Articles".
 United States Patent No 4,112,033, September 1978.
28. Lingl, H.:
 "Removal of Sewage Sludge".
 Patent Offentlegungsschrift 23 36 267, 1975.

29. **Mesaros, Roza:**
**"Use of Sludge from the Municipal Sewage System for
 Brickmaking - New Life for an Obsolescent Brickworks".**
Ziegelindustrie International, p 251-254, No 5/ 1989.

30. **Migneault, W.H.:**
"Fresh Water Utility Recycles its Sludge".
Biocycle, Vol. 29, p 63-64, No 4, 1989.

31. **Ohshima, Yoshio and Masuta, Takashi:**
"Sludge Melting: Japan's Method of Treatment".
Water Environment and Technology, p 68-71, June 1991.

32. **Ottaviani, M., Magnatti, P. and Parziale, F.:**
"Industrial Sludge Disposal by Incorporating in Tiles".
**Heavy Metals Environment International 5th Conference,
 Vol 1, p 619-621, 1985.**

33. **Probst, M.:**
**"Gravel Mud - an Additive Raw Material for Structural
 Ceramic Products".**
Ziegelindustrie International, p 155-159, No 4, 1987.

34. **Ratzenberger, H.:**
**"Einsatz von Sekundärrohstoffen in der Bau - und Grob-
 keramikindustrie".**
Baustoffindustrie, p 186-188, No 6, November 1984.

35. **Schweizer, G.:**
**"Versuche zur Optimierung der Schlammwässerung
 und zur Verwertung von Rinde und Schlamm in der Zie-
 gelindustrie".**
Wochenbl., Papierfabr., Vol 103, p 833-839, No 22, 1975.

36. **Slim, J.A. and Wakefield, R.W.:**
**"The Utilisation of Sewage Sludge in the Manufacture of
 Clay Bricks".**
Water SA, Vol. 17, No 3, p 197-202, July 1991.

37. **Stefanov, S.:**
**"The Use of Industrial Wastes in the Brick and Tile In-
 dustry".**
Ziegelindustrie International, p 137-141, 3/1986.

38. **Tay, Joo-Hwa:**
"Bricks Manufactured from Sludge".
**Journal of Environmental Engineering, p 278-284, No 2,
 1987.**

39. **Tay, Joo-Hwa:**
"Potential Use of Sludge Ash as Construction Material".
Resources and Conservation.
Elsevier Science Publishers, B.V. Amsterdam, p 53-58,
13/1986.

40. **Tay, Joo-Hwa and Show, Kuan Yeow:**
"Properties of Cement Made from Sludge".
Journal of Environmental Engineering, Vol. 117, p 236-
246, No 2, March/April 991.

41. **Tay, Joo-Hwa and Show, Kuan Yeow:**
"The Use of Lime Blended Sludge for production of Ce-
mentitious Material".
Water Environment Research, Vol. 64, p 6-12, No 1, 1992.

42. **Tenaglia, A. e Cenni, P.:**
"L'argilla da laterizi come ricettore di fanghi industriali".
L'Industria Italiana dei Laterizi 3, p 141-146, 1984.

43. **Tucker, J.F.E.:**
"Firing of Bricks from Clay Containing Combustible
Components in Tunnel Kilns".
Ziegelindustrie International, p 9-11, No 1, 1980.

44. **Verhoeve, S.C.H. and Janssen, E.J.A.:**
"Processing of Papermaking Sludges and Its use in manu-
facture of Sand-Lime Bricks".
Patent Offentlegungsschrift DE 38 38 379 A1, 1989.

45. **Zani, A., Tenaglia, A. and Panigada, A.:**
"Reuse of Papermaking Sludge in Brick Production".
Ziegelindustrie International, p 682-690, No 12, 1990.

46. **Zani, A., Tenaglia, A. and Panigada, A.:**
"Reuse of Papermaking Sludge in Brick Production, Part
2".
Ziegelindustrie International, p 13-16, No 1, 1991.

Litteratursøgning.

Der er foretaget litteratursøgning på Århus Tekniske Bibliotek og I. Krüger Systems A/S's bibliotek.

Der er søgt i databaser indenfor emneområderne miljø, byggeri, keramik, ingeniørarbejde og kemi. Søgningen er foretaget i februar 1992, og der er søgt i følgende databaser:

<u>Database</u>	<u>Tidsrum</u>
BODIL	1975 - febr. 1992
BRIX	1960 - nov. 1991
CA SEARCH	1967 - febr. 1992
CERAMIC ABSTRACTS	1976 - okt. 1991
CHEMABS	1967 - febr. 1992
COMPENDEX	1969 - febr. 1992
CONF. PAPERS INDEX	1972 - febr. 1992
DECHEMA	1976 - febr. 1992
ENGINEERED MATERIALS ABSTRACTS	1986 - febr. 1992
ENVIROLINE	1971 - febr. 1992
ENVIRONMENTAL BIBLIO- GRAPHY	1974 - nov. 1991
FLUIDEX	1969 - febr. 1992
IBSEDEX	1970 - dec. 1991
PASCAL	1973 - febr. 1992
POLLUTION	1970 - dec. 1991
RSWB	1976 - febr. 1992
SILICA	1968 - febr. 1992
VANYTT	1970 - febr. 1992

Hovedparten af databaserne er engelsksprogede, og her er der søgt på kombinationer af ordene tile, brick, ceramic, sludge og waste.

I de tysksprogede baser er der søgt på en kombination af Ziegel, Keramik, Schlamm, Sedimeeziegel og Sediment.

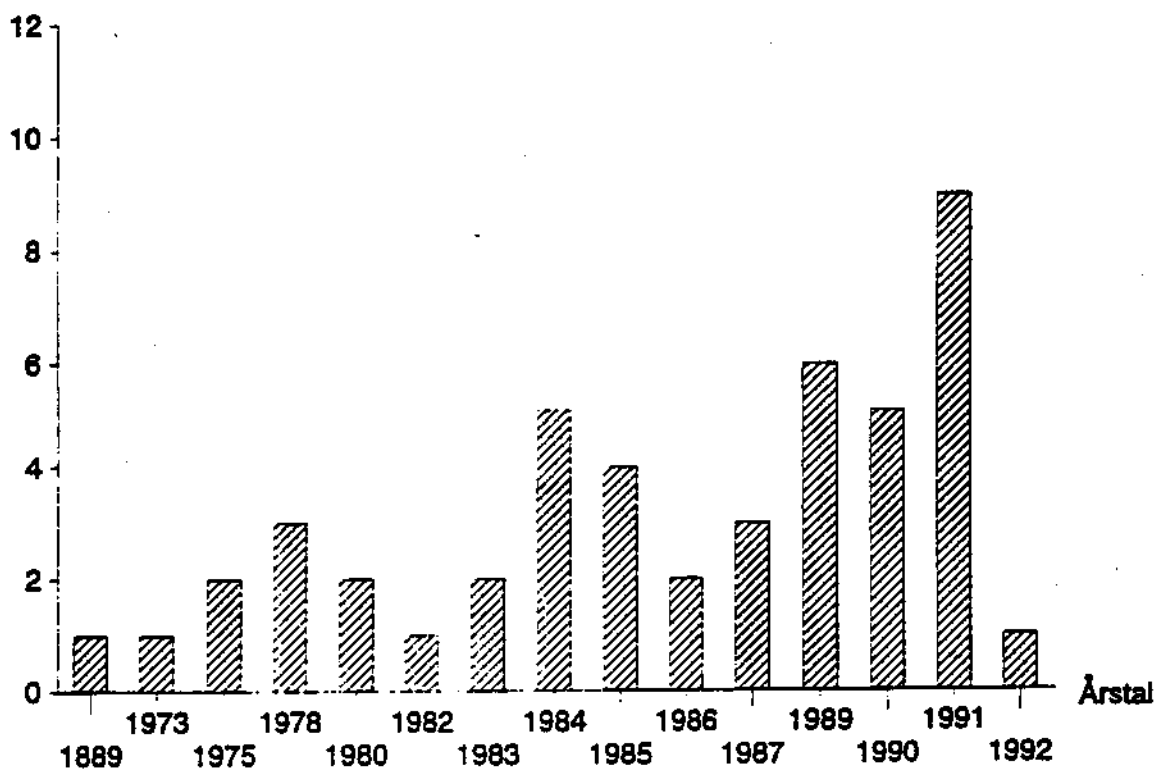
Endelig er der i de svenske søgt på tegel, slam og avlopsslam.

For alle de fremkomne referencer er abstract gennemgået, og herudfra er den relevante litteratur udvalgt.

Søgningen har givet artikler, der behandler anvendelsen af flere forskellige slamtyper i tegl. Af disse slamtyper er medtaget dem, der bedømmes at være relevante efter danske forhold.

Udgivelsesår

Antal artikler



Første patent, 1889.

N^o 12,623

A.D. 1889

Date of Application, 10th Aug., 1889—Accepted, 2nd Nov., 1889

COMPLETE SPECIFICATION.

Improvements in Utilizing the Waste Product from Sewage Works for the Manufacture of Bricks, Tiles, Quarries, Building Blocks, Slabs, and the like.

I THOMAS SHAW of No. 46 Mode Wheel Road, Weaste near Manchester in the County of Lancaster Engineer do hereby declare the nature of this invention and in what manner the same is to be performed, to be particularly described and ascertained in and by the following statement:—

3 The object of this invention is to utilize the sludge, sediment or waste product from the precipitating tanks of sewage works, to form bricks, tiles, quarries, slabs, blocks or other similar solid forms for building and other purposes.

The sewage as pumped up or otherwise taken in a liquid state from the sewers is ordinarily mixed with lime and other ingredients and is left to settle in the precipitating tanks; the solid refuse matter settles to the bottom of the tanks in the form of sludge and the supernatant clear liquid (comparatively pure water) is allowed to flow away either back again into the sewers or into a brook, river, or other water course, being limpid, inodorous, and otherwise innocuous.

10 The precipitated sludge has to be removed from the tanks from time to time and hitherto it has been considered as a valueless waste product, the accumulation of which has been a great drawback to the adoption of the precipitating system at sewage works.

This waste product or sludge contains various ingredients more or less valuable, and I have discovered that by mixing the said refuse with common clay a plastic composition may be obtained which possesses valuable properties and is capable of being moulded into the shape of bricks, tiles, slabs, blocks or other similar solid forms, and after drying and burning in the ordinary manner is suitable for utilization for building and other purposes.

20 According to my invention I take the sludge or refuse from the sewage precipitating tanks and I add thereto about an equal quantity of common clay, and these ingredients I mix well together by means of any suitable machine such for instance as an ordinary pug mill.

The material if too wet is then semi-dried and afterwards forced into or through dies in the ordinary manner of making bricks, tiles, slabs or similar articles from clay or other plastic materials; which when subsequently dried and burnt in the usual manner will be found to possess valuable qualities such as hardness, durability and color far superior to ordinary bricks and other articles made from clay alone, and may be used with advantage in place of the latter for building and for a variety of other useful purposes as a substitute for ordinary clay.

35 Having now particularly described and ascertained the nature of my said invention and in what manner the same is to be performed I declare that what I claim is:—

The utilization of the sludge or waste product, from the precipitating tanks of sewage works, by mixing therewith about an equal quantity of clay and forming from the mixture or plastic composition thus obtained bricks, tiles, slabs, blocks or other similar articles which when dried and burnt are suitable for building and other useful purposes.

Dated this 9th day of August 1889.

GEORGE DAVIES,

4, St. Ann's Square, Manchester, Agent for the Applicant.

45

Erfaringer og indstillinger i andre europæiske lande.

Murværkscentret har hos europæiske teglorganisationer og institutter spurgt om deres bedømmelse af mulighederne for anvendelse af slam i tegl og har modtaget følgende svar:

Schweiz Der er foretaget undersøgelser af muligheder for at anvende slam fra grusproduktion, men der er meget få praktiske erfaringer. Der har ikke været aktiviteter angående spildevands- og industrislam. Eksperterne er nervøse for problemer med giftige stoffer.

Østrig Der er ingen erfaringer med anvendelse af slam.

Holland I de sidste ti år har det flere gange været forsøgt at anvende slam. Forsøgsresultaterne har af og til været "lovende", men tekniske og økonomiske faktorer har gjort, at anvendelsen har været meget begrænset.

Der har været forsøg med:

- Slam fra Rotterdam Havn.
- Spildevandsslam.
- Slam fra papirmøller, d.v.s. fra genbrugspapir.
- Slam fra sukkerfabrikker.

Resultaterne var generelt:

- Brændingsproblemer p.g.a. højt organisk indhold.
- Påvirkning af tørring, så den er vanskelig at styre, det medfører større brækage.
- Kraftig og ofte uforudsigelig indflydelse på farven.
- Brændt slam er anvendeligt, men ugunstigt p.g.a. energiudgifter, med mindre andre betaler for brændingen.
- Miljøproblemer p.g.a. (dels reel, dels blot påstået) forøgelse af emissioner (organisk stof, lugt, tungmetaller) i produktionen eller fra det færdige produkt.

Frankrig Forskellige typer slam og anvendelsen heraf i tegl er undersøgt. Resultaterne har været negative, så på nuværende tidspunkt ønsker franskmændene ikke at indgå i

et praktisk arbejde. De foreslår at anvende slam fra papirindustrien i lette produkter.

Delkonklusionerne, der har influeret på udfaldet:

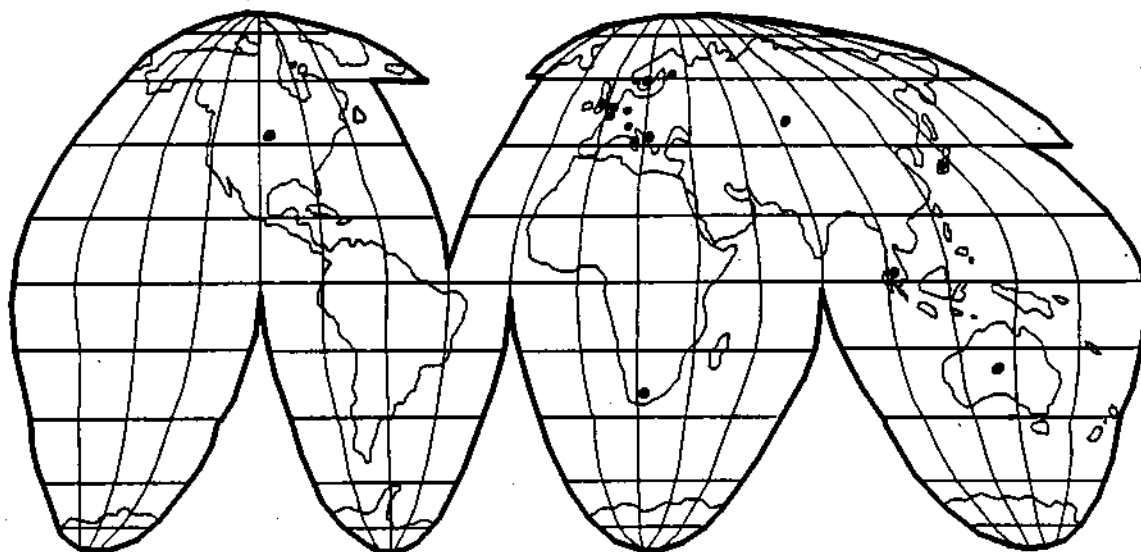
- Ændring af produktionsudstyr bl.a. p.g.a. vandtilsætning.
- Varierende svind er svære at styre i en reel produktion.
- Transport-, håndterings- og afvejningsproblemer.
- Forureningsproblemer under tørring og brænding såsom:
 - Flygtige, organiske materialer
 - Tungmetaller m.m.
- Porøsitet og opløselige salte, der kan forårsage misfarvninger.
- Økonomi.

England

Man er ved at opstille et program for et projekt for teglindustri og vandbehandlingsfirmaer ang. undersøgelse og brug af spildevandsslam i teglproduktion.

Man har hidtil ingen erfaringer på området.

Man er interesseret i at opstille britisk-dansk projekt på området for om muligt at få EF-støtte.

Globus.

Artiklerne fra litteraturundersøgelsen stammer fra fig. lande:

Australien
Belgien
England
Finland
Holland

Italien
Japan
Jugoslavien
Schweiz
Singapore

Sverige
Sydafrika
Tyskland
USA
USSR