

# Stabilisering/Solidificering

## Strategielement i miljøindsatsen i Øst-Europa?

Av Leo B. Langgaard.

Leo B. Langgaard er ansatt hos B. Højlund Rasmussen, Rådgivende Ingeniører A/S.

*Innlegg på Nordisk Vannmøte  
13.—14. mai 1991.*

### 1. Indledning

I Norden har metoder til at stabilisere/solidifisere (s/s) eller indbinde forskjellige miljøfremmede stoffer været få. For nærværende foreligger der kun oplysninger om ét produkt /1/. I resten af Europa foreligger kun få oplysninger om s/s-metoder. Ud over oplysninger om én metode fra England (Sealo safe) og én fra Nederlandene (Soliroc) er den danske metode eneste troværdige alternativ.

Traditionen for at bruge s/s-metoden i USA afspejles i antallet og udbudet på det amerikanske marked. Der findes ca. 50 firmaer som markedsfører metoden. Mindre end ca. 10 af disse findes troværdige af US-EPA (USA's miljøstyrelse). I denne sammenhæng skal nævnes SITE-programmet, som er en del af USA's Superfond-program. En kort beskrivelse af dette findes i /4/. Inden for SITE-programmet er igangsat en række demonstrationsprojekter med det formål, bl.a. at udvikle effektive og økonomiske teknikker til behandling af forurenede jord og grundvand på Superfond-pladser. Inden for programmet er testet relativt mange s/s-teknikker med forskellige koncepter (on-site/in-situ). Demonstrationsprojekterne involverer fuldskalaforsøg på aktuelle forurenede områder med både tung-

metaller og organiske stoffer. For yderligere orientering henvises til /5/. Ovennævnte aktiviteter afspejler USA's tradition for at s/s miljøfremmede restprodukter fra industrivirksomhed med en efterfølgende deponering på losseplads/specialdepot. I de følgende kapitler gives dels en generel orientering om metoden dels om tiltag med en dansk indfaldsvinkel som gennemføres for nærværende i Østeuropa.

### 2. Generelt vedrørende stabilisering/solidificering

Stabiliseringsprocesser har ikke til hensigt at fjerne forurenende stoffer fra jorden, men snarere at eliminere de miljømæssige risici af den forurenede jord, således at slutproduktet kan håndteres, opbevares eller deponeres på en hensigtsmæssig måde. Formålet er at minimere spredningen af stoffer fra reaktionsproduktet til det omgivende miljø.

Minimering af emissionen af stoffer eller udvaskningen kan opnås med en af følgende typer processer:

1. Kemiske reaktioner med de forurenende stoffer, som giver hydrofobe/vanskeligt opløselige eller lidet flygtige forbindelser (on-site/in-situ).
2. Indkapsling/isolation af de forurenende stoffer fra infiltrationsvand ved at tilføre stoffer, som vil danne hydrofobe/uopløselige forbindelser

- på overfladen af den partikulære forurening (in-situ eventuelt on-site).
3. Indkapsling af stoffer, som er i stand til at binde/fiksere porevandet og/eller udfylde hulrummene (porerne) og dermed mindske mobiliteten af opløselige/flygtige stoffer (in-situ/on-site).
  4. Forglasning (vitrificering), dvs. sammensmeltning til en glassmasse ved elektrodisk opvarmning (in-situ).
  5. Regulering af pH-værdi og/eller redoxpotentiale for at opnå minimal opløselighed af forurenende stoffer i perkolat eller grundvand, eller for at nedsætte dannelsen af flygtige forbindelser (on-site/in-situ).
  6. Nedsættelse af den mikrobielle aktivitet ved udtørring (overdækning + dræn) eller styring af de aerobe/anaerobe forhold for at undgå opløselige/flygtige nedbrydningsprodukter (in-situ/on-site).

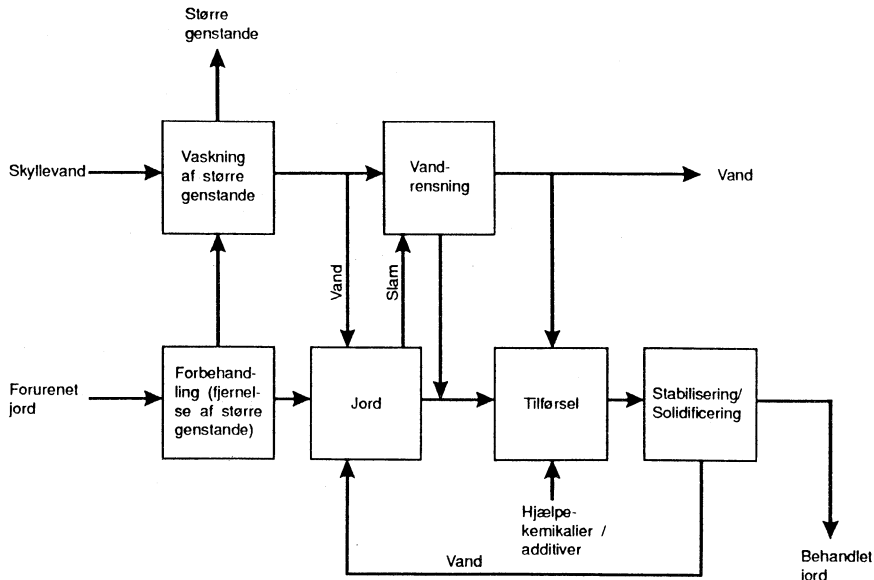
Processer skitseret under 1. og 4. har indtil i dag været markedsført i lille udstrækning. Processerne 2, 3 og 4 bygger alle på det samme grundprincip, nemlig at bremse/spærre for vandtilstrømning til forureningspartiklerne. Det er i denne forbindelse ikke væsentligt, om der opstår nogle sprækker i produktet, blot den totale (aktive) overflade pr. m<sup>3</sup> jord til enhver tid er meget mindre end før behandlingen. Proces 5 er et specialtilfælde af 1.

Stabiliseringsmekanismen 3. skønnes at være den mest almindelige.

Stabiliseringsteknikker skal i denne forbindelse ses som summen af processerne stabilisering, solidificering og immobilisering, eller med et godt skandinaviske navn: indbinding.

### 3. Procesbeskrivelse

De fleste on-site stabiliseringsmetoder bruger relativt simple tek-



Figur 1. *Procestrin i forbindelse med stabilisering af forureninger i jord udført ved opblanding med hjælpekemikalier.*

nikker for opblanding af forurenede jord og hjælpekemikalier.

### 3.1 Opblanding

Figur 1 giver et indtryk af relevante processtrin.

Opblandingen kan foregå på principielt to forskellige metoder.

Ved den ene metode udlægges jorden i tynde lag, og hjælpekemikalier tilføres hvert lag ved udsprøjtning og/eller nedpløjning. Det næste lag jord anbringes oven på den behandlede jord efter en vis reaktionstid.

Ved den anden metode kan jord og kemikalie opblandes i en mekanisk installation, f.eks. en roterende tromle eller fast tank med en mixer/omrører. Denne teknik kan være særdeles velegnet i de tilfælde, hvor der kan forventes en emission af miljøfremmede stoffer eller hvor tidsrammen er lille. Den behandlede jord (f.eks. som en slurry) kan transporteres enten med lastbil til endelig deponeringssted eller anbringes i forme for at solidificere på stedet.

### 3.2 Tilsætning

De fleste on-site stabiliseringsmetoder, som oprindeligt er udviklet til behandling af slamprodukter, bruger en eller flere af følgende tilsætningsstoffer:

Cement, kalk, gips, pozzolaner (materiale med silikater og aluminater, f.eks. flyveaske), bitumen, termoplast og/eller organiske polymerer eller kompleksdannere.

Adskillige blandinger bruger specielle additiver. Anvendelser af nogle udvalgte stabiliseringsmetoder er omtalt i det følgende.

## 4. Metoder

Nedenfor nævnte metoder er beskrevet i /12/.

### 4.1 Cementbaserede metoder

Cement har i århundreder været anvendt i forbindelse med byggearbejder. Udover Portland cement sælges en række cementtyper med Portland cement som basis og blandet med pozzolaner (f.eks. vulkansk aske og flyveaske) eller andre materialer. Etableringen involverer opblanding mellem jord, et cementbaseret produkt og vand i tilstrækkelige mængder. I almindelighed er mængden af cement ikke ubetydelig i forhold til den mængde jord, som skal behandles. Slutproduktmængden er derfor væsentligt forøget efter behandlingen.

Visse metalioner reagerer med karbonater eller hydroxider i cementblandingen og danner uopløselige stoffer. Andre stoffer i cementblandingen skønnes også at kunne immobilisere eller delvis immobilisere metalioner ved kemisk fiksering. Visse metaller har en særlig effekt på blandingens sludgegenskaber som f.eks. salte af aluminium, mangan, bly, tin og zink.

Adskillige additiver kan anvendes til forbedring af de fysiske og kemiske egenskaber af slutproduktet f.eks. natriumsilikat —  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ .

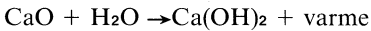
Større mængder af organisk materiale i jorden, som f.eks. tørv, humus eller organiske kontaminanter kan forlænge eller måske forhindre hærdningen af cementen.

Forsøg med nye blandingsmetoder viser dog, at man ikke behøver at få hærdningsproblemer, og at man muligvis kan nedsætte cementmængder væsentligt /8/.

#### 4.2 Metoder baseret på kalk

Nogle naturlige jorder indeholder pozzolanlignende produkter, og dette kan være en fordel ved stabilisering med kalk. Således vil geler af calciumsilikat og calciumaluminat blive dannet, når calciumoxid eller hydroxid tilføres disse jorder. Gelen medfører en fiksering af vand og reducerer udvaskningen af forurenende stoffer.

Kalkprodukter kan også anvendes ved et manglende indhold af pozzolanlignende materialer. Et vigtigt eksempel er brugen af calciumoxid for spildprodukter, som indeholder olie. Calciumoxid vil reagere med vandet i materialet udtrykt ved følgende ligning:



Denne reaktion giver tilstrækkelig varme til, at kalkens overfladeareal forøges på en sådan måde, at olie vil blive indesluttet af hærdnet calciumhydroxid (mikroindkapsling). En ulempe er, at den dannede varme kan resultere i, at flygtige stoffer fordamper.

#### 4.3 Metoder baseret på pozzolaner

Pozzolaner er materialer, som indeholder aktive silikater og aluminater, som f.eks. vulkansk aske og flyveaske.

Stabilisationseffekten er baseret på dannelse af geler, når pozzolanerne er blandet med materialer, som indeholder vand som f.eks. jord. Den endelige styrke af gelen eller slutproduktet vil først opnås efter en vis tid (fra adskillige måneder til år).

Slutproduktet er en fast og næsten uigennemtrængelig masse. Adskillige metalioner er kemisk bundet til silikater og aluminater og danner uopløselige stofkomponenter.

#### 4.4 Metoder baseret på termoplast

Termoplastmaterialer, som kan anvendes, er polyethylen, bitumen og paraffin, hvor paraffin endnu er på udviklingsstadiet. Det kontaminerede materiale skal først tørres og opvarmes, inden det kan opblandes med termoplasten, hvorpå det efter en afkøling og solidificering kan slutanbringes.

Specialudviklede maskiner til opvarmning og opblanding af produkterne er udviklet til storskalabrug med høje kapaciteter.

Den nødvendige temperatur til stabiliseringen er afhængig af den aktuelle termoplast, det forurenende stof og jordtypen, samt det anvendte maskineri, men varierer sædvanligvis mellem 130 og 230°C. Der skal tages særlige forholdsregler overfor emission af toksiske gasser. Der kan også være kemiske stoffer, som påvirker processen eller de fysiske-kemiske egenskaber af slutproduktet som f.eks. opløsningsmidler (opløser bitumen) og stærkt oxiderende salte.

#### 4.5 Minimering af mobilitet ved justering af pH-værdi og redoxpotentiale

Mobiliteten af metallioner afhænger hovedsageligt af pH-værdi og redoxpotentiale. Hvis det antages, at der ikke dannes stabile organiske komplekse forbindelser, kan en forurenet jord behandles med kemikalier, således at de mobile metallioner udfældes.

De fleste metalsalte, og specielt oxider og hydroxider, giver en minimal opløselighed ved pH-værdier mellem 8,5 og 9. Let oxiderende betingelser foretrækkes normalt for at immobilisere metalhydroxider.

Selv om mobiliteten af nogle organiske stoffer, f.eks. phenol, er påvirket af pH-værdien, er denne metode specielt anvendelig til jord forurenede med

tungmetaller og kun med et ringe indhold af organiske stoffer.

#### 4.6 Forglasning (vitrificering)

Omdannelse af forurenede jord til en glasmasse ved simpelthen at smelte den, er først og fremmest en teknik, som er tilpasset radioaktivt affald. Der er imidlertid ikke grund til at begrænse sig hertil, idet der for nogle særligt farlige stoffers vedkommende er næsten lige så store omkostninger forbundet med andre teknikker. Hertil kommer så muligheden for in-situ behandling med deraf følgende besparelse i transport af jorden.

Processen er baseret på, at man sender så stor en elektrisk strøm igennem jorden, at den smelter til en glasmasse. Herved indkapsles al slags forurening effektivt og vil kun langsomt kunne frigives i forbindelse med forvitringen af glasset. Organisk forurening bliver termisk destrueret/mineraliseret herved.

Ligesom ved alle andre processer, hvor der er stor varmeudvikling, skal man dog være opmærksom på de problemer/farer, som kan opstå ved gasudvikling. Herved kan opstå tryk/eksplosionsproblemer eller risiko for dannelse af giftige gasarter. Disse må nødvendigvis opsamles og behandles i et gasbehandlingssystem.

Timmerman /6/ har rapporteret in-situ eksperimenter, som viser, at metoden giver en inert glasmasse, og at den er ufølsom overfor sammensætningen af jorden og forureningen. Det eneste tekniske problem er gasdannelse, idet disse gasser skal opsamles og behandles. Sammen med Fitz-Patrick /7/ et al angives, at ved 25% fugtighed og med mobil strømforsyning kan omkostningerne godt blive næsten 100% højere (hvilket formodentlig skyldes forøget

dampdannelse) end for lave vandindhold.

#### 4.7 Mekanisk/hydraulisk stabilisering

Nogle af de alternativer, som er nævnt ovenfor, er mindre velegnede, når indholdet af finere materiale (silt, ler) er af en vis størrelse. Dette behøver man normalt ikke tage hensyn til ved stabiliseringsteknikker. I nogle tilfælde er det dog en fordel at sortere de finere fraktioner fra. Viser det sig så, at den belastende del af forureningen forekommer heri, er der ved passende henlæggelse heraf i virkeligheden også tale om en stabilisering, fordi udvaskningen er nedsat på grund af den reducerede permeabilitet. Hertil kommer, at forureningerne ofte er stærkest bundet til det finkornede materiale.

I Tyskland er der udviklet en speciel mixer. Metoden er specielt velegnet til finkornet materiale, og kan godt vise sig at være et godt alternativ til filtrering f.eks. i forbindelse med ekstraktion. Princippet ligner den i /8/ omtalte hvirvelmaskine, som omformer radialbevægelse til en cirkulær bevægelse. Dette bruges til blanding, beluftning og klaring. Det vides dog ikke endnu, hvilke termodynamiske forhold, der hersker, dvs. stabilitet af produktet og irreversibiliteten af processerne i nærværende sammenhænge; heller ikke mængderne af stabiliserende tilsætningsstoffer eller blot additiver kendes på nuværende tidspunkt.

Det er således ikke klart, om der blot er tale om en forbedret opblanding (større aktiv «sorptionsoverflade» på jorden), eller om der faktisk dannes stabile geler/emulsioner mv. af kolloid karakter. I begge tilfælde må dog forventes mindre behov for tilsætningsstoffer.

#### 4.8 Andre teknikker

Stabiliseringsteknikker baseret på

Tabell 1. Fordele/ulempes ved de enkelte stabiliseringsmetoder.

METODE/KEMIKALIE	FORDELE	ULEMPER
CEMENT	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Ikke specielt omkostningskrævende materiale.</li> <li>* Standardprocedurer veludviklet.</li> <li>* Afvanding ikke nødvendig.</li> <li>* Metoden er rimelig tolerant overfor kemiske variationer.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Større mængder cement skal anvendes.</li> <li>* Styrken er påvirket af adskillige forurenende stoffer (f.eks. org.-stoffer, Na, Mn, Pb, Sn, Zn).</li> <li>* Udvaskning i tilfælde af syrer.</li> <li>* NH<sub>3</sub> kan frigives i tilfælde af NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.</li> </ul>
KALK	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Ikke specielt omkostningskrævende materiale.</li> <li>* Standardprocedurer, velkendt ved affaldsbehandling.</li> <li>* Veldefinerede kemiske reaktioner</li> <li>* Afvanding ikke nødvendig.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Signifikant udvaskning i tilfælde af syrer.</li> <li>* Håndtering af kalk kan være vanskelig.</li> <li>* Kalktilsætningen kan være stor.</li> </ul>
POZZOLANER	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Relativt små mængder er nødvendige.</li> <li>* Langtidsstabiliteten er god.</li> <li>* Velkendte reaktioner.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Langsom solidificering.</li> <li>* Følsom overfor syrer.</li> </ul>
TERMOPLAST	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Minimal udvaskning.</li> <li>* God inkapsling.</li> <li>* Langsom biologisk nedbrydning.</li> <li>* Resistent overfor de fleste vandige opløsninger.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Specielt maskinelt og uddannet arbejdskraft er nødvendig.</li> <li>* Fare for eksplosioner eller brand.</li> <li>* Luftforurening skal undgås.</li> <li>* Relativt dyrt.</li> <li>* Tørring af jorden er nødvendig.</li> </ul>
FORGLASNING (VITRIFICATION)	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Ingen tilsætningsmateriale.</li> <li>* Uafhængig af forurening og jordsammensætning.</li> <li>* Sikker in-situ.</li> <li>* Billig, hvis små mængder.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Gasdannelser, som skal behandles.</li> <li>* Vandindholdet har indflydelse på prisen.</li> <li>* Dyrt.</li> </ul>
MEKANISK/HYDRAULISK	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Formindsker tilsætningsmængderne.</li> <li>* Formindsker evt. de mængder, som skal behandles.</li> <li>* Giver større fleksibilitet (alternativer).</li> <li>* Oftest et deltrin i alternative metoder.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Begrænset kapacitet, når specialmixere anvendes.</li> <li>* Højt energiforbrug, men ikke nødvendigvis i forhold til alternative metoder.</li> <li>* Oftest et deltrin i alternative metoder.</li> </ul>

epoxyprodukter (harpiks-typer), polypropylen, svovl, polyestere, phenolprodukter, copolymerer og kompleksdannere er blevet udviklet for kemisk affald fra industrien.

Erfaringer med disse processer i forbindelse med forurenede jord kendes derfor ikke. De er desuden *dyre* og kan give omgivelsesmæssige effekter.

#### 4.9 Fordele/ulemper

En generel fordel ved stabiliseringsprocesser er, at dens virkningsgrad ikke er så følsom overfor jordtypen (i hvert fald ikke on-site). I enkelte tilfælde er metoderne enddog specielt velegnede til finkornede jorde (silt, ler) i modsætning til ekstraktion og termisk behandling. Jordens sammensætning og vandindhold har dog i nogle tilfælde indflydelse på prisen.

I tabel 1 er angivet fordele og ulemper for nogle stabiliseringsmetoder.

Ud over ovennævnte fordele/ulemper skal følgende fremhæves:

Afhængig af det stabiliserede produkts potentielle omgivelsesmæssige effekt skal dette testes for følgende egenskaber:

- Udvasning af miljøfremmede stoffer
- Permeabilitet
- Trykstyrke
- Bestandighed vedvarierende tøj/frost forhold
- Langtidsholdbarheden
- Andet

Der findes i dag en række laboratorietests til rådighed for en evaluering af det stabiliserede produkts egenskaber. Disse bør imidlertid tilpasses formålet med stabiliseringen. Internationalt diskuteres metodernes egnethed som beslutningsgrundlag.

Der mangler imidlertid for nærværende behov for et udviklings- og

dokumentationsmateriale vedrørende langtidsvaskningsforsøg samt metoder til bestemmelse af opblandingen af produkt, hjælpekemikalier, cement og eventuelt andet. I /9/ gives en vurdering af S/S metoder. Konferencerne /10, 11/ har specifikt behandlet S/S teknologien.

#### 4.10 Omkostninger

Ved stabiliseringsprocesser er beregnet følgende omkostninger i 1987 kr.:

Kalk, pozzolaner	160— 500 kr./ton
Cement	260— 650 kr./ton
Termoplast (skøn)	300—3.000 kr./ton
Forglasning	1.500—3.000 kr./ton
Mekanisk/hydraulisk*	75— 150 kr./ton
Mekanisk/hydraulisk**	300— 600 kr./ton

\* Uden andre trin (f.eks. sortering og tilsætningsstoffer).

\*\* Uden andre trin men med tilsætning af cement og vand, til slutprodukt som sten (vejfylt mv.).

#### 4.11 Vurdering af S/S i forhold til andre afværgeteknologier

Foreløbige informationer om afværgeteknologier er sammenfattet i tabel 2. I tabellen er både anført tidligere angivne erfaringer og mulighederne for at udvikle forskellige teknologier til praktisk anvendelse. Kun en del af de skitserede processer er fuldt udviklede, testet eller direkte anvendt i forbindelse med rensning af kontamineret jord. Yderligere procesudviklinger foregår derfor for en række teknikker som både i dag anvendes i fuld-skala og forventes udviklet til fuldskalatrinet.

Udviklingen foregår for øjeblikket så hurtigt, at processer færdigudvikles og markedsføres fra det ene år til det næste, og det kan derfor være vanskeligt at få et endeligt overblik over produkter/-teknikker, som markedsføres i dag.

Tabel 2. *Sammenfatning af informationer om afværgeteknikker.*

<i>Behandlingsmetode</i>	<i>1</i> <i>Udviklings-</i> <i>trin</i>	<i>2</i> <i>Anvende-</i> <i>lighed</i>	<i>3</i> <i>Energi-</i> <i>behov</i>	<i>4</i> <i>Balance</i> <i>mellem</i> <i>fordele og</i> <i>ulemp</i>	<i>5</i> <i>Udviklings-</i> <i>muligheder</i>
EKSTRAKTION	0/+	M. H. HH. C	+	+	+
KEMISK BEHANDLING	—/0	H. HH. C. M	0/—	0	+/0
FLOTATION	0	H. HH. C. M	+	0	+/0
TERMISK BEHANDLING					
* Fordampning ved direkte kontakt med opvarmet gas:					
— Efterforbrænding af gasser	+	H. HH	—	+/0	+
— Katalytisk efterbrænding af gasser	—	H. HH	—	+/0	0/—
— Udvasking	—	H. HH	—/0	0	0
* Fordampning eller indirekte kontakt med opvarmet gas:					
— Efterforbrænding af gasser	—	H. HH	—	+/0	+
— Katalytisk efterbrænding af gasser	—	H. HH	—	+/0	0
— Udvasking	—	H. HH	—/0	+	+
* Forbrænding:					
— Efterforbrænding af gasser	0/+	H. HH. C	—	0	+
— Katalytisk efterbrænding af gasser	—	H. HH. C	—	0	0/—
— Udvasking	—	H. HH. C. M	—	0	+/0
* Total forbrænding	+	H. HH. C. M	—	0	+
FYSISK SEPARERING					
— Sigtning	0	(M. H. HH. C)	+	+/0	+
— Magnetisk	—	M. (C)	0	0	—
BIOLOGISK BEHANDLING	0/+	H. HH. (C)	+	0	+
STABILISERING					
— Kalk, pozzolaner	0/+	M. H. HH. C	+	0	+
— Cement + hjælpekemikalier	0/+	C. H. HH. M	+	0	+
— Termoplast	0	M. H. HH. C	—/0	—/0	—/0
— Forglasning	0/+	M. H. HH. C	—	—	+

#### Søjle 1

- : Ikke undersøgt eller kun i laboratorieskala.
- 0 : Undersøgt i pilotanlæg.
- +

#### Søjle 3

- +
- 0 : Lavt energibehov
- 0 : Moderat energibehov
- : Højt energibehov

#### Søjle 5

- +
- +
- 0 : Gode udsigter
- 0 : Moderate udsigter
- : Dårlige udsigter

#### Søjle 2

- M : Tungmetaller
- H : Hydrocarboner
- HH : Halogenerede hydrocarboner
- C : Cyanider

#### Søjle 4

- +
- +
- 0 : Positiv balance
- 0 : Positive og negative faktorer i balance
- : Negativ balance

#### Positive faktorer:

- Stor anvendelighed mht. antallet af forurenende stoffer.
- Lavt energibehov.
- Ringe mængde af restprodukter
- Lave anlægskostninger
- Universiel anvendelighed mht. antallet af steder.
- Flere anvendelsesmuligheder for det behandlede område.



## 5. Geodur

Specielt skal nævnes produktet Geodur som er udviklet i Danmark /1, 2/.

Metoden er udviklet til stabilisering af tungmetallforurenede jord, aske, slam, mv.

Geodur-stabilisering kan udføres med almindelige entreprenørmaskiner til vej- og pladsarbejder eller maskiner og udrustning til blanding af materialer. Effekten af geodur-processen er uafhængig af jordens pH-værdi, og de indledende forsøg viser et godt resultat både med sure og basiske jordarter.

Geodur-koncentratet er fremstillet kemisk, er giftfrit, vandopløseligt og kan anvendes i forbindelse med alle jord-, aske- og slamtyper.

Geodur-koncentratet blandes med vand i forholdet 1:100. 1—2% af denne opløsning blandes i jorden, inden den ønskede cementmængde iblandes.

Geodur-processen er gennemført med mange forskellige materialtyper, som f.eks. flyveasker, sulfumpulvere, slagger, havneslam, kloakslam, sort muld, sandholdig muldjord, lermuld, stærk lerholdig jord, bundslam fra vandløb (indeholdende store mængder blåler), strandsand, ørkensand, laterit jord.

De kemiske reaktioner i selve S/S-processen med geodur er tilligemed de øvrige nævnte og internationalt kendte metoder på det nærmeste ukendte.

I forbindelse med dokumentationen af metoden er gennemført følgende:

- Udvaskningsforsøg på forskellige produkter og af forskellige firmaer/institutter.
- Permeabilitetsforsøg.
- Strukturanalyser.
- Trykprøvninger.
- Begroingsforsøg.
- Andet.

## 6. Tiltag i Østeuropa

### 6.1 Generelt

Følgende typer af restprodukter vil kunne stabiliseres:

- Asker og slagger fra kulfyrede kraftværker.
- Asker/slagger fra affaldsforbrændingsanlæg.
- Slam (og andre restprodukter) fra udvalgte industrier og kommunale rensningsanlæg.
- Forurenede jord.
- Eventuelt kombinationsprodukter af forskelligt affald.

Mængden af restprodukter er usandsynlig stor og der vil ikke være mulighed for at genanvende alle disse produkter.

De bedst egnede til udvalgte formål bør prioriteres.

Som et eksempel på et restprodukt skal nævnes asker/slagger i det gamle DDR. Der har været afbrændt ca. 300 mill. tons brunkul og stenkul pr. år på kraftværker. På grund af dårlig brændselsværdi og kraftværkernes ringe forbrændingsteknik skønnes et askeindhold på ca. 20—30%. Dette medfører at mellem 600.000 og 900.000 tons aske pr. år er henlagt i tilfældige depoter. Disse depoter vil udgøre et potentielt miljøsmæssigt problem i forbindelse med forurening af grundvand og overfladevand.

Ovennævnte usystematiske deponeringer af restprodukter er et problem som der skal tages stilling til inden for en overskuelig fremtid.

Problemet vil kunne løses f.eks. ved en kombination af indkapsling og genanvendelse. Afhængig af restproduktets kvalitet vil det dårligste kunne isoleres eventuelt genanvendes. Isoleringen kan gennemføres ved top-/bund- og/eller sidemembraner for dermed at reducere udvaskningen og transporten

af tungmetaller til grundvand og/eller følsomme recipienter.

Stikord til genanvendelsesproblematikken anføres i næste afsnit.

## 6.2 Eksempler på genanvendelse af slagge/askeprojekter

Da pozzolaneffekten af materialet i de eksisterende depoter vil være stærkt reduceret må kravene til at genanvende dette materiale være beskedne.

Alt afhængig af de enkelte produkters egenskaber (for vejmaterialer f.eks. tøj/frost egenskaber) kan ovennævnte materiale f.eks. anvendes til følgende:

- i vejkonstruktioner
- deponeres
- som byggematerialer.

### 6.2.1 Vejkonstruktioner

Det skal nævnes, at danske elsselskaber har etableret et vejlaboratorie som udlægger og kontrollerer udstøbte belægninger i forbindelse med vejkonstruktioner. Således afprøver Vejlaboratoriet med støtte fra offentlige myndigheder for nærværende muligheden for at opnå højklassificerede vejbetontyper hvori indgår forskellige måder at stabilisere forskellige forbrændingsasker på f.eks. vejbyggeri i Trundholm Kommune /2/.

Vejkonstruktioner opbygges af forskellige mellemslag. Disse lag kunne f.eks. bestå af 1) asfaltslidlag, 2) bærelag af beton eller asfalt, 3) stabiliserede mellemslag, 4) friktionsmateriale, som muliggør en afdræning af vejkassen.

Det skønnes, at op til ca. 25% af den ikke befugtede aske fra den løbende produktion vil kunne benyttes hvis svindrevneproblemet blev løst. Dette problem ville kunne løses ved anvendelse af geodurproduktet /2/ som hjælpekemikalie tilsat specielt udviklede vejbetoner beregnet til bærelaget.

Forsøg er iværksat bl.a. med Portland Cement og et belgisk firma /3/.

Det skal nævnes at vejkonstruktioner opbygget med elementer af restprodukter ikke alene undersøges i Danmark, men aktuelt anvendes i USA, Israel og andre steder.

### 6.2.2 Deponering/indkapsling

Afhængig af de enkelte restprodukter samt stabiliseringsmetoden, vil disse kunne deponeres f.eks. på lossepladser eller genanvendes f.eks. i dæmninger, ved kystsikring mv. En sådan genanvendelse vil naturligvis medføre, at de stabiliserede produkter i laboratoriet skal testes med hensyn til en række parametre som f.eks. udvaskning af miljøfremmede stoffer, permeabilitet, trykstyrke, tøj-/frostegenskaber, langtidsholdbarheden.

### 6.2.3 Byggematerialer

Anvendelse af stabiliserede asker og slagger er et oplagt emne for genanvendelse. I denne sammenhæng er der gennemført forsøg med sådanne produkter i et aktuelt projekt i Moskva, USSR.

I projektet indgår planer om udvikling af en bloksten, som fremstilles til udfyldning af murværk i in-situ støbte betonbygninger samt indvendige skille- rum. For nærværende er udført kemiske analyser af asker/slagger og undersøgt sammenhængen mellem vand/cementtal og tøj-/frostegenskaberne. Der er tale om en bloksten med begrænset styrke, max. 10 MPa.

Projektet, som er under udarbejdelse, vil omfatte levering af udstyr til opblanding og udstøbning af bloksten med en kapacitet på ca. 260.000 ton pr. år, svarende til en produktion af ca. 17 mio. bloksten.

Omkostningerne til projektet vil udgøre i størrelsesorden ca. 100 mio.

Dkr. Det forventes at bloksten skal afsættes på det russiske markede til en pris af ca. 50 rubler/m<sup>3</sup> f.eks. som teglsten. Ved ovennævnte korte referat af hovedlinjerne i projektet kan fordelene summeres til følgende:

- Produktet er konkurrencedygtigt på pris.
- Lavenergikrævende.
- Miljøvenlig.
- Råstofbesparende.
- Produces af lokal arbejdskraft.
- Produces hvor råproduktet findes.

Endvidere vil der foregå en ikke ubetydelig eksport af danske produkter, hvilket jo ikke er uden betydning i denne sammenhæng.

#### 6.2.4 Danske erfaringer

Danske erfaringer med projekter i Østeuropa er temmelig varierende. Følgende kan nævnes:

- Bedre miljø er der et stærkt behov for, men ingen penge til.
- Hvis der skal udføres projekter skal pengene haves med «hjemmefra».

Disse to udtalelser harmonerer med følgende udtalelse fra firmaer til dagspressen:

- Det går væsentligt langsommere end forventet.

Men følgende er også hørt:

- Afsætningen går aldeles strålende. Solgt for 50 mio. Dkr. apparater til miljømålinger. På en uge.

Ovennævnte udtalelser fremkommer fra forskellige brancher. Inden for miljøområdet vil udtalelser fra danske konsulenter variere på tilsvarende måde.

## REFERENCER:

- /1/ Geodur A/S ved Hr. Svend Mortensen, Skovlytoften 19, DK 2840 Holte, Danmark. Tlf. 45 - 42 42 55 07. Fax: 45 - 42 42 56 03.
- /2/ Geodur: Analyseresultater og introduktion til Geodur-systemet. Bind I—III.
- /3/ Newcon A/S, Ternevej 20, Postboks 139, DK 4000 Roskilde. Tlf. 45 - 42 35 36 16. Fax: 45 - 46 75 72 82.
- /4/ Vurdering af dansk industris muligheder for at levere anlæg til behandling af forurenede grundvand og perkolat samt rensning af forurenede jord. Industri- og Handelsstyrelsen, Formidlingsrådet. Høringsoplæg dec. 1988.
- /5/ The Superfoud Innovate, Technology Evaluation Program: Technology Profiles. EPA/540/5 - 89/013 Nov. 1989. EPA/540/5 - 90/006 Nov. 1990.
- /6/ Timmerman, L.C. (1984): Stabilization of contaminated soils by in-situ vitrification. PNL-SA-11638; CONF 8403105-1.
- /7/ Fitzpatrick; V.F. *et al.*: In-situ vitrification: A potential remedial action technique for hazardous waste. PNL-SA-12316; CONF 8406142-2.
- /8/ Levi, E. (1983): A fluidic vortex device for water treatment processes. J.Hydr.Res. 21, 17.
- /9/ Barth, E.F.: Summary of solification/stabilization SITE demonstrations at uncontrolled hazardous waste sites. Presented at the second International Symposium on stabilization/solidification of hazardous, radioactive and mixed wastes. Williamsburg, Virginia, USA, May 29—June 1, 1990.
- /10/ Second International Symposium on stabilization/solidification of hazardous, radioactive and mixed wastes. Williamsburg, Virginia, USA, May 29—June 1, 1990.
- /11/ Second Forum on innovative hazardous waste treatment technologies: domestic and international. US EPA, Philadelphia, Pennsylvania, USA, May 15—17, 1990.
- /12/ Alternative afværgeteknologier for forurening fra kemikaliedepoter. Rapport til Teknologirådet og Miljøstyrelsen udarbejdet af Tage Sørensen A/S, Terraqua ApS og Vandkvalitetsinstituttet, ATV, okt. 1987.