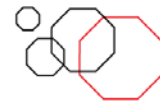


# Restprodukter i betonproduktion - muligheder og udfordringer

Claus Pade, Miljø-workshop, Teknologisk Institut, 5. oktober 2006

Nytænkning gennem 100 år

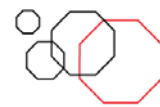


Nytænkning gennem 100 år

## Restprodukttyper

	Kraftværker	Renseanlæg	Forbrændingsanlæg	Andet
Flyveaske	Kulforbrænding	Slamforbrænding	Affaldsforbrænding	Fint sand
	Samfyring-halm			
	Samfyring-træpiller-olie			
Bundaske	Kulforbrænding	Nej	Affaldsforbrænding	Ovnstøv fra cementproduktion
	Samfyring-halm			
	Samfyring-træpiller-olie			

Anvendes i betonproduktion i DK  
 Anvendes begrænset i betonproduktion i DK  
 På forsøgsstadiet i DK  
 Anvendes ikke i DK



Nytænkning gennem 100 år

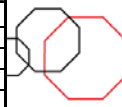
## Kemiske sammensætning



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

WDXRF	Studstrup kul	Studstrup halm	Avedøre kul	Avedøre træpiller	Avedøre kulbundeske	Lynetten slam	Avedøre slam
Na <sub>2</sub> O	0.15	0.11	2	1.2	1.1	1.1	0.72
MgO	1.3	1	2.5	2.3	1.8	3.4	3.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32	29	22	20	17	7.2	6.2
SiO <sub>2</sub>	51	53	51	55	59	25	20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.9	1.8	1.1	0.99	0.2	24	27
SO <sub>3</sub>	0.64	0.75	1.7	1.4	0.4	5.8	2
K <sub>2</sub> O	0.79	2.5	2.7	2.5	2.6	1.8	1.3
CaO	7	5.6	7.1	6.7	4.2	17	22
TiO <sub>2</sub>	1.8	1.8	1.2	1.1	0.9	1.2	1.1
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.037	0.042	0.035	0.15	0.023	0.016	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.029	0.034	0.017	0.016	0.016	0.018	0.022
MnO	0.053	0.039	0.068	0.064	0.08	0.073	0.095
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.3	3.3	7.7	7.4	7.5	13	15
Co <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	-	-	0.006	0.006	0.005	0.006	0.009
NiO	0.012	0.012	0.014	0.052	0.009	0.009	0.011
CuO	0.0093	0.009	0.013	0.01	0.005	0.093	0.11
ZnO	0.0097	0.011	0.028	0.03	0.007	0.48	0.28
Rb <sub>2</sub> O	-	-	-	-	0.012	0.003	0.003
SrO	0.31	0.3	0.26	0.25	0.12	0.32	0.4
ZrO <sub>2</sub>	0.095	0.1	0.042	0.051	0.046	0.016	0.013
BaO	0.24	0.18	0.18	0.2	0.16	0.098	0.12
PbO	0.01	0.009	0.015	0.016	0.003	0.053	0.015
Chlorid	0.005	0.003	0.014	0.002	0.01	0.082	0.016
Opløselig fosfat	55	50	27	79	-	19	91

Nytænkning gennem 100 år



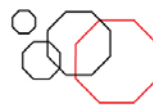
## Samfyringsflyveasker – fysiske egenskaber



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

	Studstrup kul	Studstrup halm	Avedøre kul	Avedøre træpiller
Densitet	2217	2156	2342	2403
Glødetab	3.6	2.55	2.11	1.13
Sigterest, 0.045 mm	15	37	22	32
Aktivitetsindeks, 28 døgn	88	86	88	81
Aktivitetsindeks, 90 døgn	103	97	108	99
Afbinding start, min	145	165	240	230

Nytænkning gennem 100 år



## Samfyringsflyveasker – Frisk beton



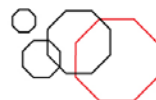
TEKNOLOGISK  
INSTITUT

### C35 - aggresivmiljøklasse

Sætmål (mm)	Studstrup kul	Studstrup halm	Avedøre kul	Avedøre træpiller
Efter blanding	100	160	160	200
+ 30 min	80	100	140	150
+ 60 min	50	70	105	125

### C20 - passivmiljøklasse

Sætmål (mm)	Studstrup kul	Studstrup halm	Avedøre kul	Avedøre træpiller
Efter blanding	140	150	230	195
+ 30 min	80	100	205	180
+ 60 min	40	80	170	180



Nytænkning gennem 100 år

## Samfyringsflyveasker – Frisk beton



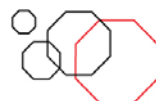
TEKNOLOGISK  
INSTITUT

### C35 - aggresivmiljøklasse

Luftindhold (%)	Studstrup kul	Studstrup halm	Avedøre kul	Avedøre træpiller
Efter blanding	7	9.5	8.6	9.2
+ 30 min	6.2	8.9	8.5	10.2
+ 60 min	5.2	7.1	7.6	11

### C20 - passivmiljøklasse

Luftindhold (%)	Studstrup kul	Studstrup halm	Avedøre kul	Avedøre træpiller
Efter blanding	5.2	9.3	5.9	8
+ 30 min	3.4	8.4	5.5	8
+ 60 min	3	6.9	7.5	10

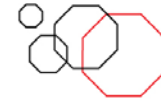
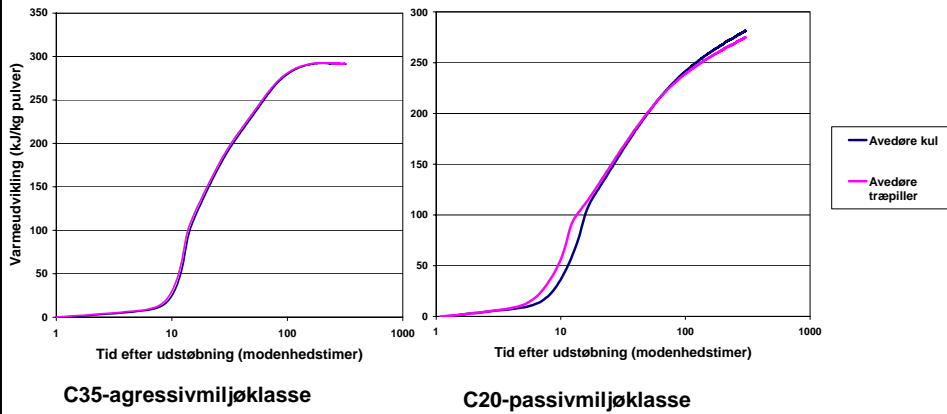


Nytænkning gennem 100 år

# Samfyringsflyveasker – Betons varmeudvikling



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

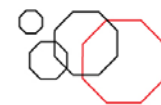
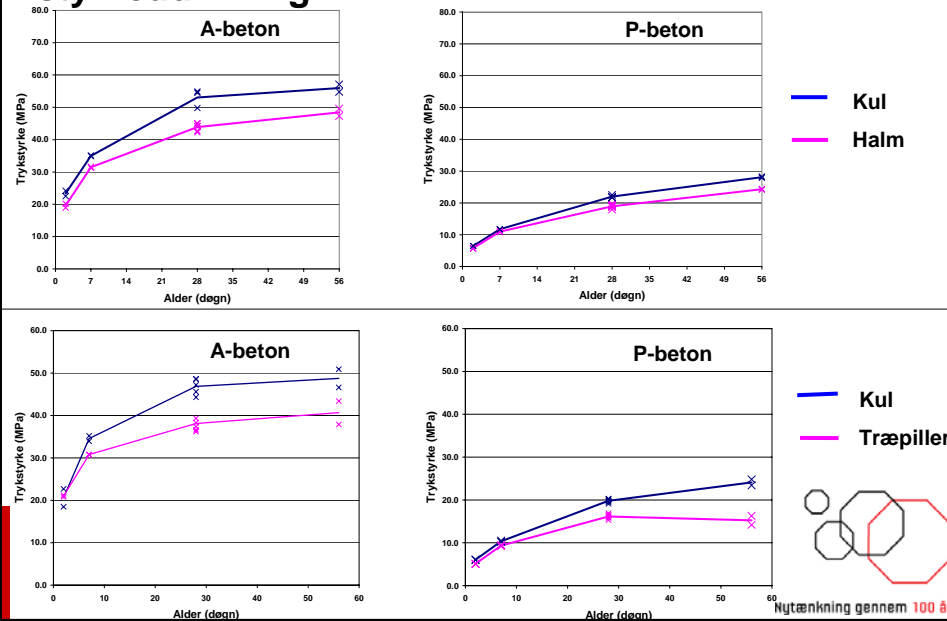


Nytænkning gennem 100 år

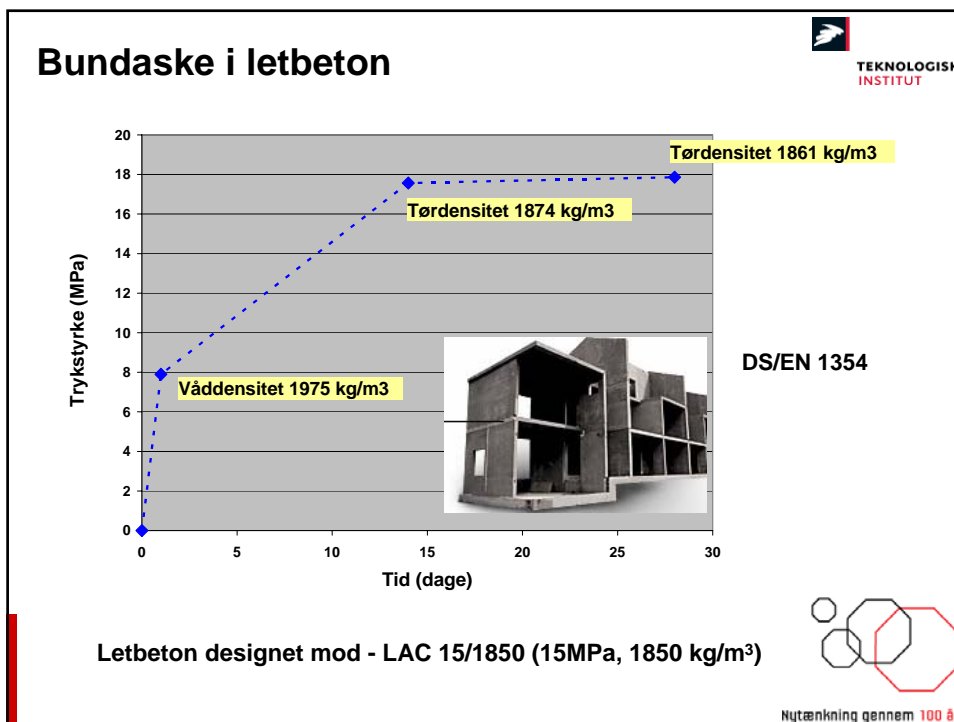
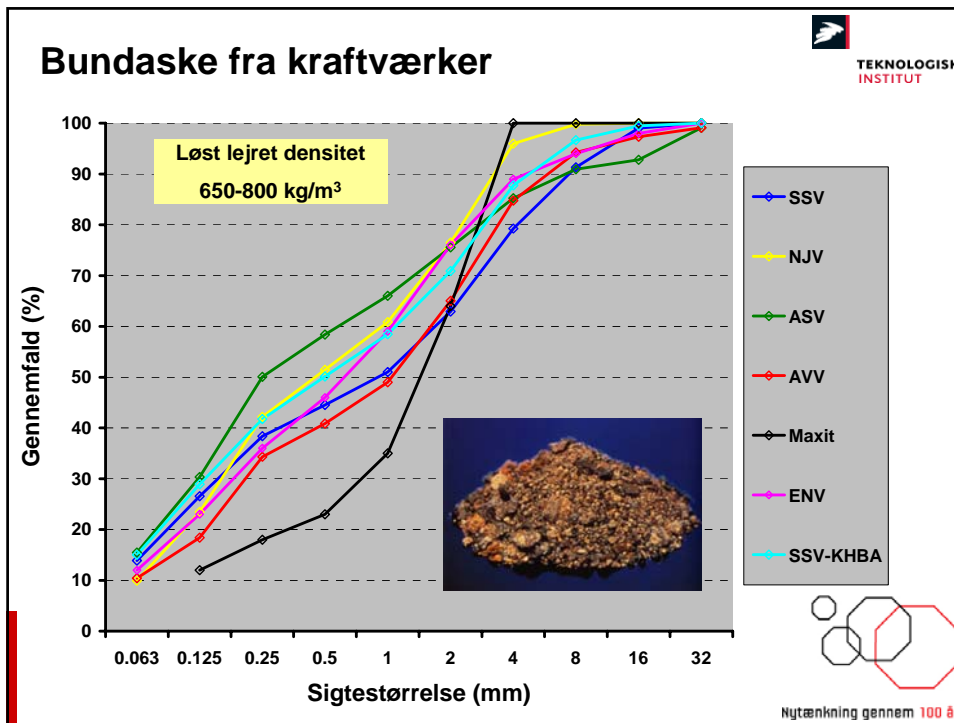
# Samfyringsflyveasker – Betons styrkeudvikling



TEKNOLOGISK  
INSTITUT



Nytænkning gennem 100 år



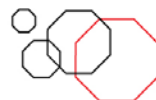
## Affaldsforbrænding



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

- Deponering udenlands i øjeblikket – men.....
- Forsøg på DTU<sup>1)</sup> har vist:
  - at afbindingstiden for beton med flyveaske er meget lang – 2-3 døgn
  - at styrkeudviklingen er langsom og varierende
  - at der udvikles gas i betonen under blanding (aluminium)
- Forsøg i bl.a. Belgien tyder på at bundaskens indhold af metallisk aluminium giver anledning til ekspansive reaktioner i beton
- Aske/slagge indeholder ret betydelige mængder af tungmetaller – udvaskning bør derfor undersøges i forbindelse med potentielle anvendelser

1) AdvCemConX-2006, Davos, Schweiz:  
"PRELIMINARY INVESTIGATION OF THE EFFECT OF AIR-POLLUTION-CONTROL RESIDUE FROM WASTE INCINERATION ON THE PROPERTIES OF CEMENT PASTE AND MORTAR"  
Mette R. Geiker, Ane Mette Kjeldsen, Emmanuel Galluci, Dirch H. Bager



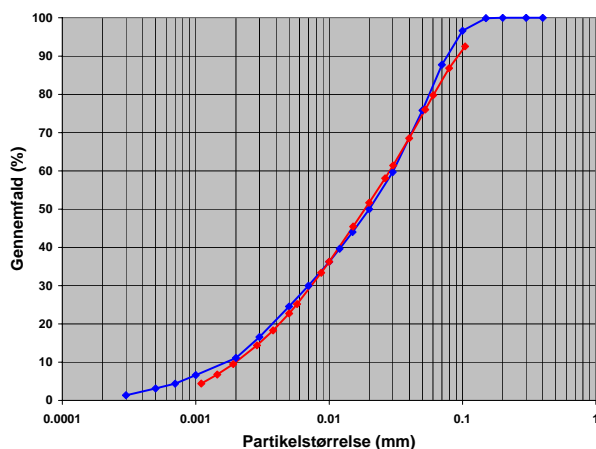
Nytænkning gennem 100 år

## Grusgrave - ekstra fint sand

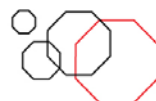


TEKNOLOGISK  
INSTITUT

- Er partikler som vaskes væk ved indvinding af sand og sten i en grusgrav



XRD - Ingen  
lerminerale !



Nytænkning gennem 100 år

## Grusgrave - ekstra fint sand



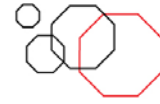
TEKNOLOGISK  
INSTITUT

- Forsøg med at erstatte cement med fint sand i betonelementproduktion

ID	Cement (kg)	Vand (kg)	Fint sand (kg)	Luft (%)	Flydemål (mm)	Glittetidspunkt (min)	1 døgn (MPa)	7 døgn (MPa)	28 døgn (MPa)
1	411	147.1	0	3.7	500	270	28.5	46.7	52.6
2	369	143.9	30	4.1	450	-	24.7	43.7	49.2
3	369	143.3	60	4.5	500	270	21.4	39.6	41.6



Ikke dispergerede klumper af partikler – måske medvirkende til lavere styrke..?



Nytænkning gennem 100 år

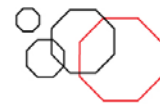
## Udvaskning



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

	Slamaske	CEM I	Flyveaske
Ag	1,6	< 0,8	< 0,8
As	16	13	41
Ba	930	323	940
Bi	2,9	0,56	0,55
Cd	9,3	0,8	0,4
Cr	152	27	33
Cu	850	78	22
Hg	11	< 0,3	0,79
Mn	790	156	186
Mo	23	2,8	11
Ni	102	27,7	19,3
Pb	122	13,6	6,7
Sb	9,8	< 0,5	1,1
Tl	0,93	0,32	0,43
V	40	80	68
Zn	1230	103	39

Udvalgte tungmetaller (mg/kg)



Nytænkning gennem 100 år

## Udvaskning – betoner og metode



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

	Cement (kg/m <sup>3</sup> )	Flyveaske (kg/m <sup>3</sup> )	Mikrosilika (kg/m <sup>3</sup> )	Bioaske (kg/m <sup>3</sup> )	v/c
Håndværkerbeton	188				0,77
Cement + flyveaske + mikrosilika	121	79	11		0,75
Cement + flyveaske	133	82			0,75
Cement + bioaske	184			120	0,89
Grøn bro	303		17	31	0,39

Betonprøve

Knust

Karbonatiseret i CO<sub>2</sub>

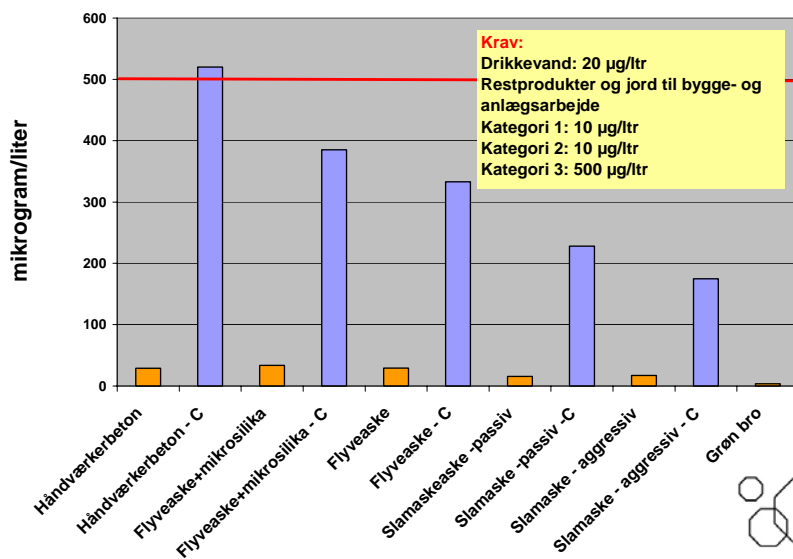
Udvaskningstest EN 12457 -1



## Udvaskning - Krom



TEKNOLOGISK  
INSTITUT



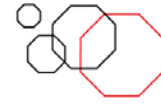
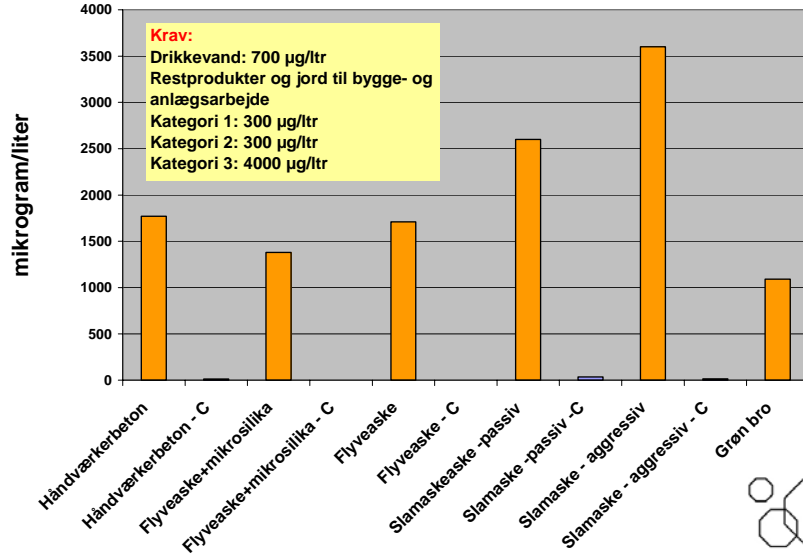
Nytænkning gennem 100 år



## Udvaskning - Barium



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

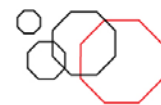
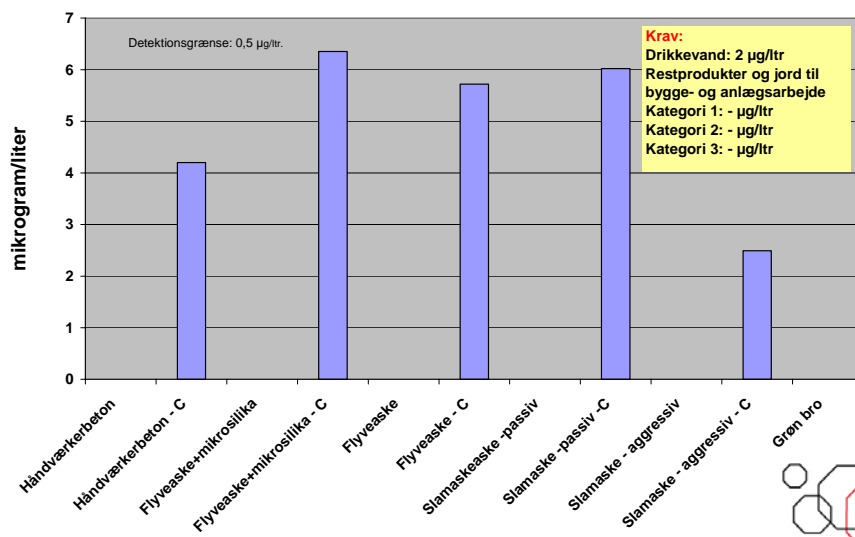


Nytænkning gennem 100 år

## Udvaskning - Antimon



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

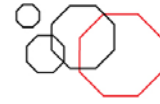
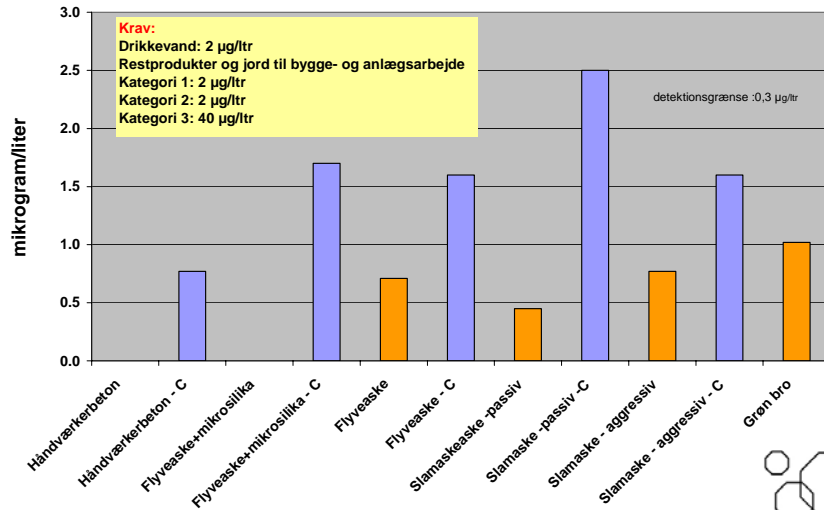


Nytænkning gennem 100 år

## Udvaskning - Cadmium



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

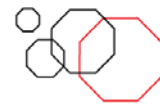
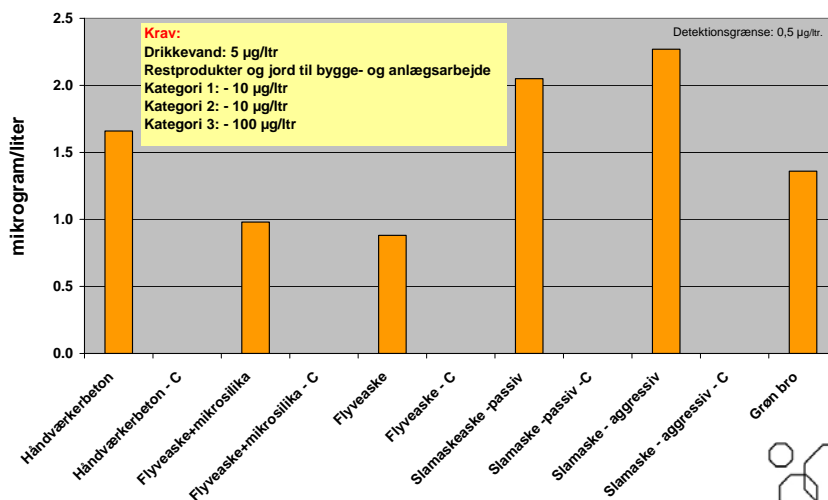


Nytænkning gennem 100 år

## Udvaskning - Bly



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

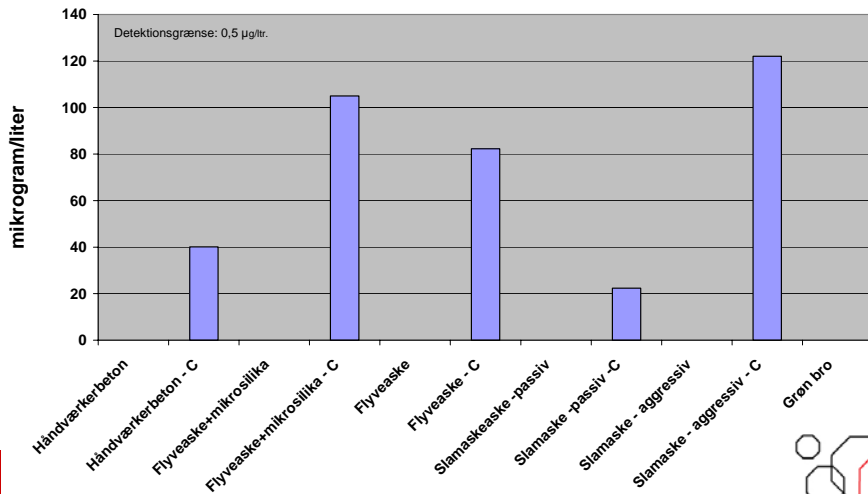


Nytænkning gennem 100 år

## Udvaskning - Vanadium



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

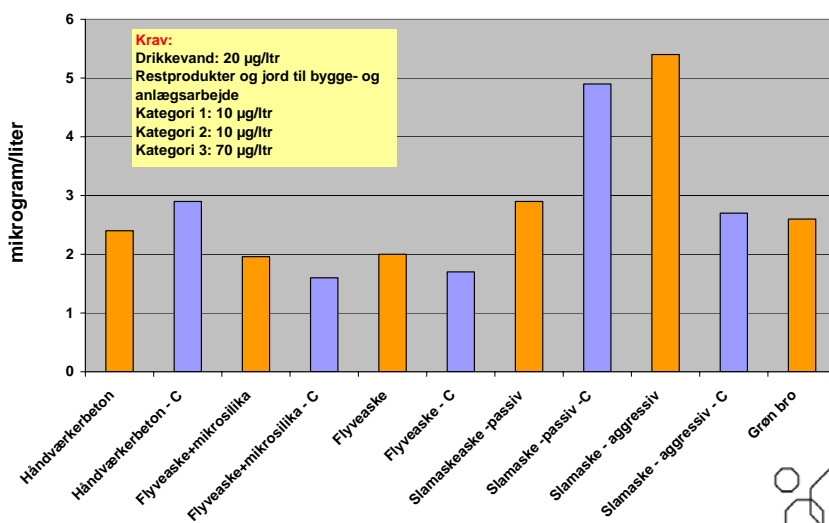


Nytænkning gennem 100 år

## Udvaskning - Nikkel



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

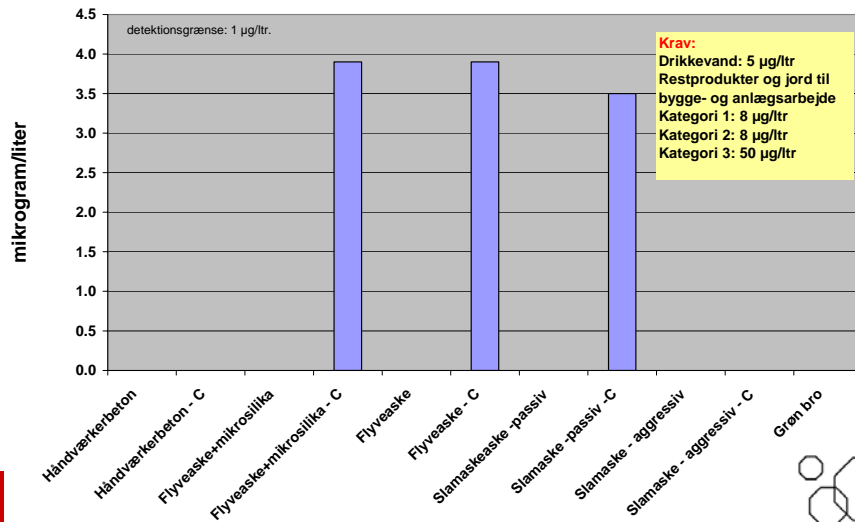


Nytænkning gennem 100 år

## Udvaskning - Arsen



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

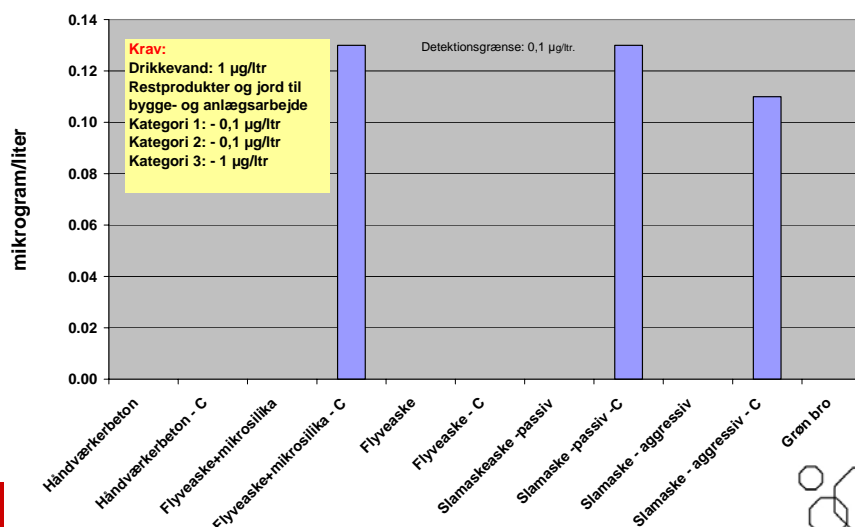


Nytænkning gennem 100 år

## Udvaskning - Kviksølv



TEKNOLOGISK  
INSTITUT



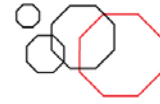
Nytænkning gennem 100 år

## Konklusion



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

- Samfyringsflyveaske (EN 450-1) baseret på kul og halm er blevet introduceret med succes i Danmark.
- Andre samfyringsflyveasker kunne være på vej – en aske baseret på kulflyveaske, træpiller og olie er blevet testet med tilfredsstillende resultat.
- Letbeton (åben struktur) med bundaske i stedet for letklinker kan i laboratoriet fremstilles med samme densitet og styrke som traditionel letklinkerbeton.
- Fint sand kan måske anvendes til beton, men der er udfordringer omkring at sikre homogenitet.
- Udvaskning er pH afhængig.



Nytænkning gennem 100 år