



Kvalitetssikring i cementproduktion

Anya Roskjær Knudsen
Teknisk konsulent, M.Sc.

|Agenda

- Grundlag for kvalitetssikring af cementproduktion
- Kvalitetskontrol i produktionsprocessen
- Når noget går skævt.....



| Grundlag

DS/EN 197 (Europæisk cementstandard)

- **Del 1:** Sammensætning, krav til egenskaber og overensstemmelseskriterier for almindelige cementer
- **Del 2:** Overensstemmelsesvurdering



Grundlag

- Krav til kontroller i DS/EN 197-1

Tabel 6 – Egenskaber, prøvningsmetoder og mindste prøvningsfrekvens for cementproducentens autokontrolprøvning samt statistisk godkendelsesprocedure

Egenskab	Cementer, der skal prøves	Prøvningsmetode ^{a,b}	Autokontrolprøvning			
			Mindste prøvningsfrekvens		Statistisk godkendelsesprocedure	
			Produktionsprøvning	Forprøvning af ny cementtype	Undersøgelse af	
1	2	3			Kontinuert variation ^c	Alternativ variation
4	5	6	7			
Tidlig styrke Standardstyrke	Alle	EN 196-1	2/uge	4/uge	x	
Begyndende afbinding	Alle	EN 196-3	2/uge	4/uge		x ^d
Ekspansion	Alle	EN 196-3	1/uge	4/uge		x
Glødetab	CEM I, CEM III	EN 196-2	2/måned ^e	1/uge		x ^d
Uopløselig rest	CEM I, CEM III	EN 196-2	2/måned ^e	1/uge		x ^d
Sulfatindhold	Alle	EN 196-2	2/uge	4/uge		x ^d
Chloridindhold	Alle	EN 196-2	2/måned ^e	1/uge		x ^d
C ₃ A i klinker ^f	CEM I-SR 0 CEM I-SR 3 CEM I-SR 5	EN 196-2 ^g	2/måned	1/uge		x ^d
	CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR	- ^h				
Puzzolanitet	CEM IV	EN 196-5	2/måned	1/uge		x
Hydratiseringsvarme	Almindelige cementer med lav varmeudvikling	EN 196-8 eller EN 196-9	1/måned	1/uge		x ^d
Sammen sætning	Alle	- ⁱ	1/måned	1/uge		

Cementinformation

- Autokontrolprøver kan findes i Cementinformation
- 1 prøve pr. uge for hver cementtype

RAPID® cement

Fysiske og kemiske resultater baseret på ugentlige silostikprøver

Gældende Ydeevnedeklaration: December 2017

Uge nr.	1 døg MPa	Mørteltrykstyrke 2 døg MPa	7 døg MPa	28 døg MPa	Abs. densitet kg/m ³	Beg. afb. min.	SO ₃ %	Chlorid %	C3A %	Alkaliindh. Na ₂ O ækv %
								≤ 0,05	≤ 8	≤ 0,6
21	24					150	3,3			0,6
20	26	39	56		3140	125	3,3	0,04	7,8	0,6
19						145	3,2			
18	24	36	55			150	3,1	0,04	7,8	0,6
17	23	35	55			165	3,1			0,6
16	24	37	55	65	3150	160	3,2	0,04	7,3	0,5
15	24	38	57	69		160	3,2			0,6
14	24	38	55	64		145	3,1	0,05	7,5	0,6
13	25	39	58	65		145	3,2			0,6
12	28	40	58	69	3150	135	3,3	0,04	7,5	0,6
11	24	39	55	65		140	3,2			0,6
10	25	39	60	68		160	3,1	0,04	7,7	0,6
9	24	37	55			130	3,0			0,6
8	25	38	55	68	3150	140	3,1	0,04	7,3	0,6
7	25	40	58	69		145	3,1			0,6
6	27		58	68		160	3,2	0,05	7,2	0,6
5	25	38	57	63		130	3,1			0,6
4		39	54	63	3150	140	3,2	0,04	7,5	0,5
3	26	39	55	63		140	3,1			0,6
2	25	39	56	66		145	3,1	0,04	7,3	0,6
1	26	39	56	67		145	3,1			0,6
52	25	39		72	3130	145	3,1	0,04	7,5	0,6
51	25	38	54	64		125	3,2			0,6
50	25	39	56	67		145	3,2	0,03	7,5	0,6
49	23	37	55	63		130	3,0			0,6
48	23		54	63	3130	160	3,1	0,03	7,1	0,6
47	24	38	57	65		145	3,1			0,6
46	25	36	56	64		150	3,2	0,04	7,3	0,5
45	24	38	52	64		140	3,0			0,6
44	23	36	56	67	3150	145	3,0	0,04	7,6	0,6
43	24	37	56	66		135	3,0			0,6
42	21	37	55	66		145	3,1	0,03	7,3	0,6
41	27	40	59	68		135	3,1			0,6
40	25	39	56	68	3140	140	3,1	0,04	7,4	0,6
39	24	38	55	69		145	3,2			0,6
38	26	39	58	69		150	3,3	0,04	7,3	0,6
37	26	39	57	66		125	3,3			0,6
36	24	38	58	68	3150	125	3,1	0,04	7,5	0,6
35	26	38	58	71		135	3,2			0,5
34	24	38	56	65		140	3,1	0,04	7,4	0,6
33	21	35	52	64		135	3,1			0,6
32	22	34	52	65	3140	140	3,1	0,04	7,4	0,6
31	25	38	57	67		120				0,6
30	26	39	52	65		115	3,2	0,04	7,6	0,6
29	27	39	59	70		135	3,2			0,6
28	27	40	58	68	3150	140	3,2	0,04	7,6	0,6
27	23	37	57	68		145	3,0			0,6
26	26	38	56	65		145	3,1	0,05	7,8	0,5
25	24	37	55	63		145	3,3			0,6
24	25	39	50	62	3150	135	3,3	0,05	7,8	0,6
23	24	39	56	67		145	3,2			0,6
22	26	39	56	69		150	3,3	0,04	8,1	0,5

Produktionsmængder

Cementtype	Årlig produktion
Rapid® cement	1.000.000 ton
Basis® cement	400.000 ton
Lavalkali Sulfatbestandig® cement	60.000 ton
Aalborg White® cement	800.000 ton

Cementtype	Styrke, Afbinding, Sulfat
Rapid® cement	1 prøve / 9.600 ton
Basis® cement	1 prøve / 3.800 ton
Lavalkali Sulfatbestandig® cement	1 prøve / 600 ton
Aalborg White® cement	1 prøve / 7.700 ton

Produktionsmængder

Cementtype	Årlig produktion
Rapid® cement	1.000.000 ton
Basis® cement	400.000 ton
Lavalkali Sulfatbestandig® cement	60.000 ton
Aalborg White® cement	800.000 ton

Cementtype	Styrke, Afbinding, Sulfat
Rapid® cement	1 prøve / 240 tankbiler
Basis® cement	1 prøve / 95 tankbiler
Lavalkali Sulfatbestandig® cement	1 prøve / 15 tankbiler
Aalborg White® cement	1 prøve / 192 tankbiler





Kvalitetskontrol i produktionsprocessen

Cementkemi

Vigtigste grundstoffer i cementkemi:

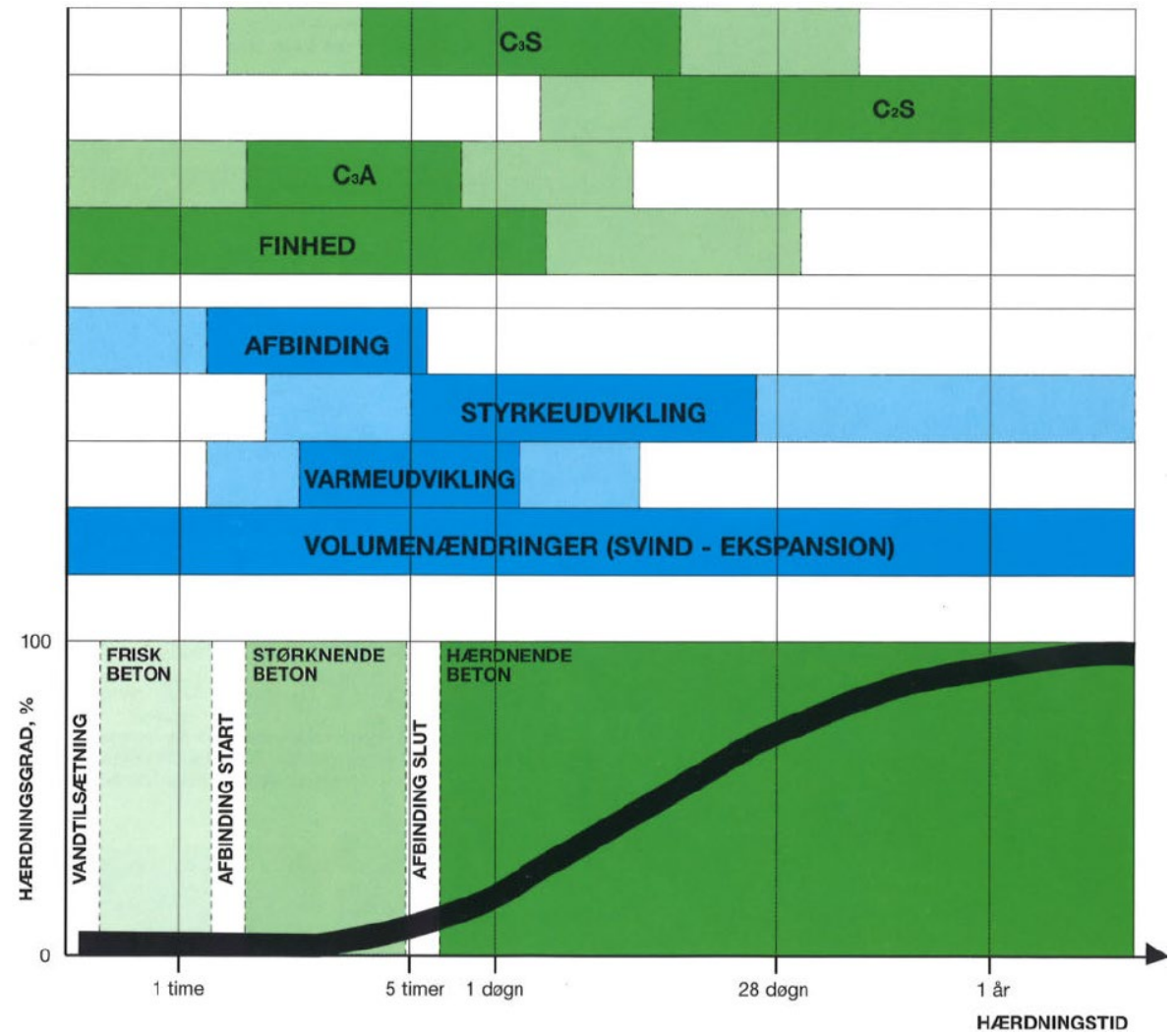
- Ca (CaO)
- Si (SiO_2)
- Al (Al_2O_3)
- Fe (Fe_2O_3)



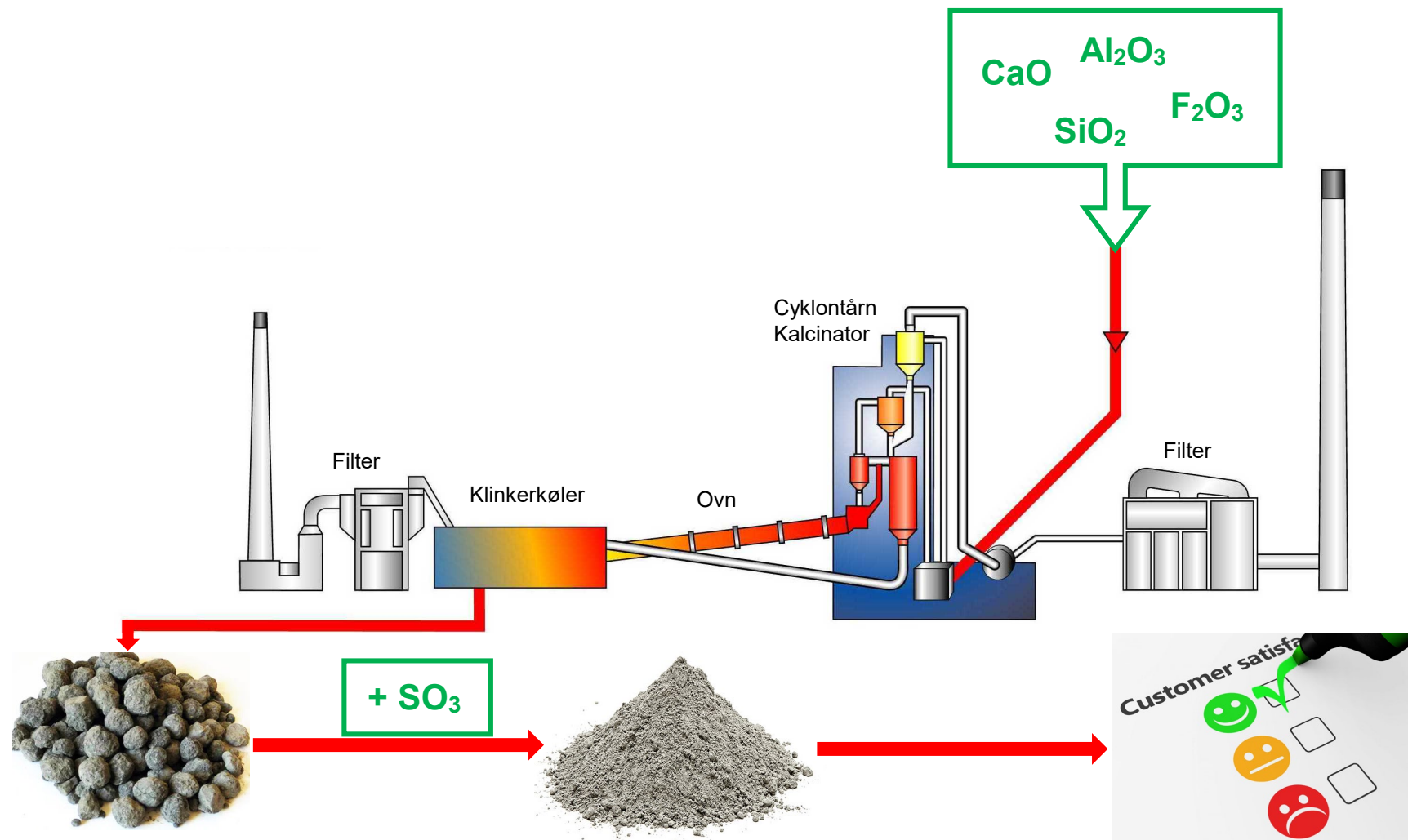
Klinkermineraller

C_3S , C_2S , C_3A og C_4AF

- SO_3



Hvor svært kan det være?



| Desværre ikke så simpelt

Råmaterialer:

Grundstof	Vigtigste kilde	Indeholder også bl.a.
Ca (CaO)	Kridt	Silicium, jern, alkali, magnesium o.a.
Si (SiO ₂)	Sand	Chlorid (havvand)
Al (Al ₂ O ₃)	Oxiton, Flyveaske	Flourid, jern, silicium, calcium, alkali, magnesium
Fe (Fe ₂ O ₃)	Kisaske	Zink, chrom

| Desværre ikke så simpelt

Råmaterialer:

Grundstof	Vigtigste kilde	Indeholder også bl.a.
Ca (CaO)	Kridt	Silicium, jern, alkali, magnesium o.a.
Si (SiO ₂)	Sand	Chlorid (havvand)
Al (Al ₂ O ₃)	Oxiton, Flyveaske	Flourid, jern, silicium, calcium, alkali, magnesium
Fe (Fe ₂ O ₃)	Kisaske	Zink, chrom

Restprodukt fra
genanvendelse af
aluminiumsskrot

Restprodukt fra
fremstilling af
svovlsyre

Restprodukt fra
kulkraftværker

| Desværre ikke så simpelt

Mineraliseret proces (CO₂-reducerende):

Grundstof	Vigtigste kilde	Indeholder også bl.a.
Flour	Aluspar	Aluminium, silicium

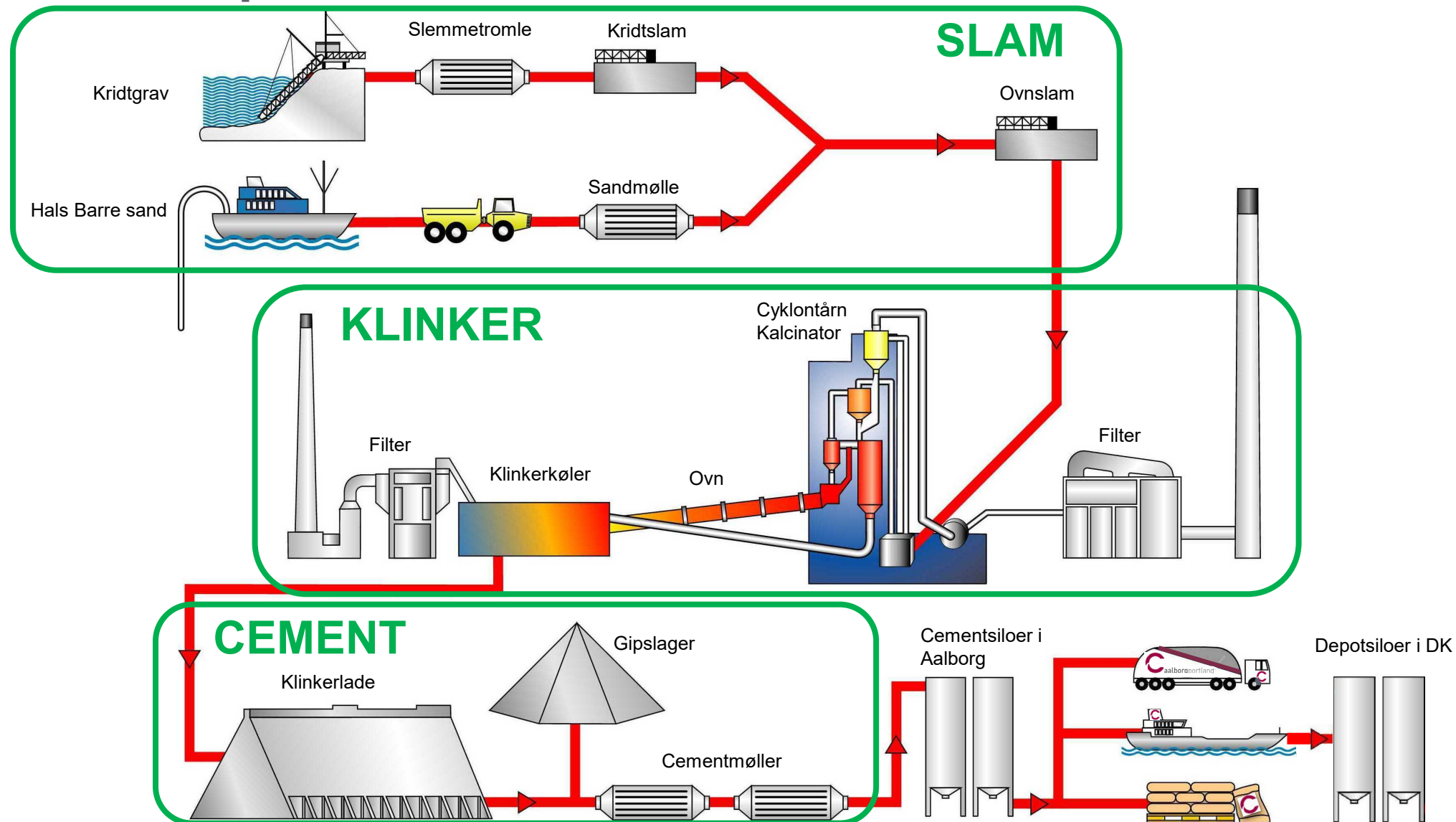
Restprodukt fra
fremstilling af
flussyre

Brændsler:

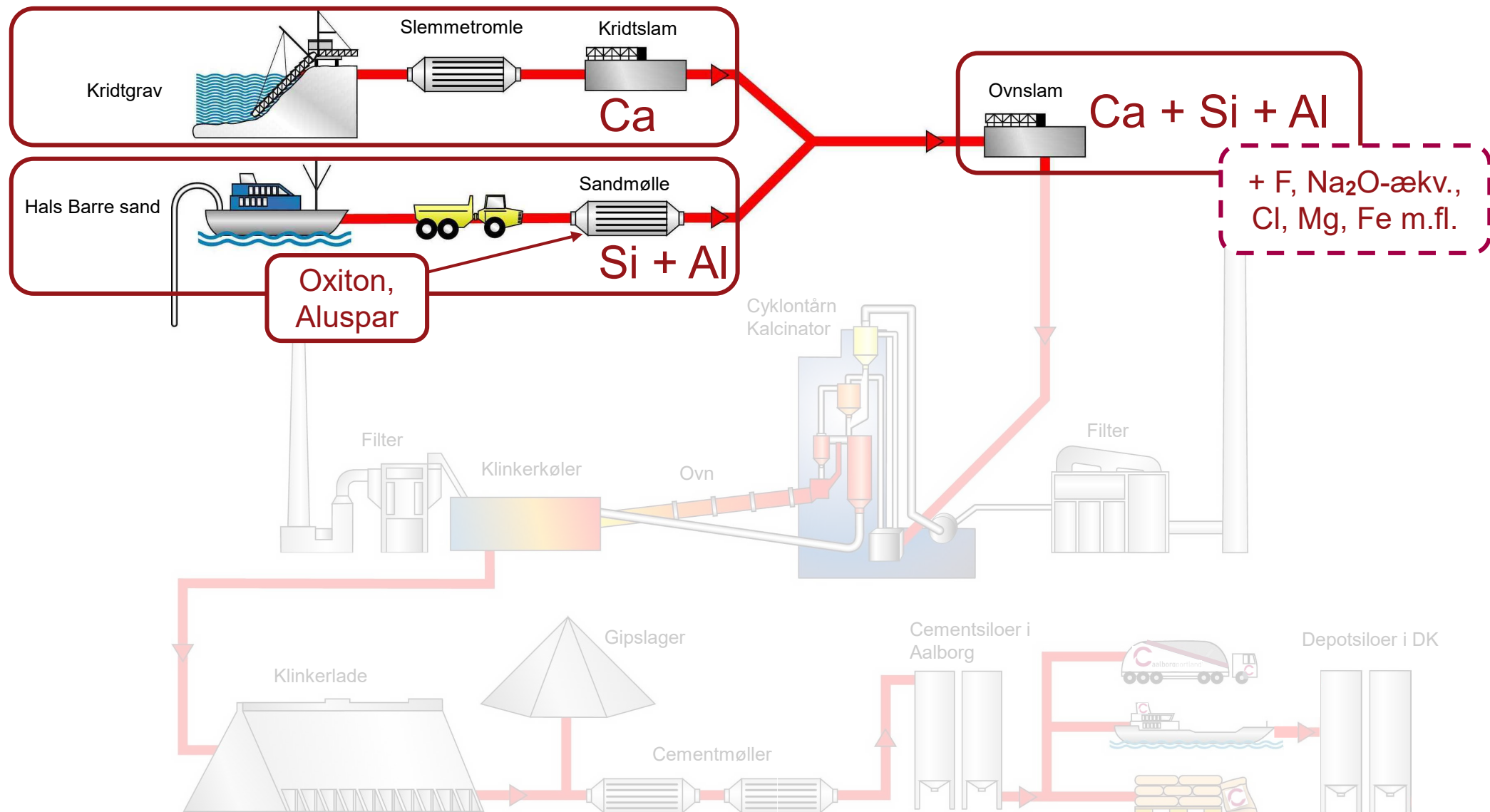
CO ₂ -reducerende brændsler	Indeholder bl.a.
Kød- og benmel Tørret spildevandsslam	Fosfat
RDF (papir, pap, plastik)	Chlorid

Fossile brændsler	Indeholder bl.a.
Kul og petcoke	Svovl

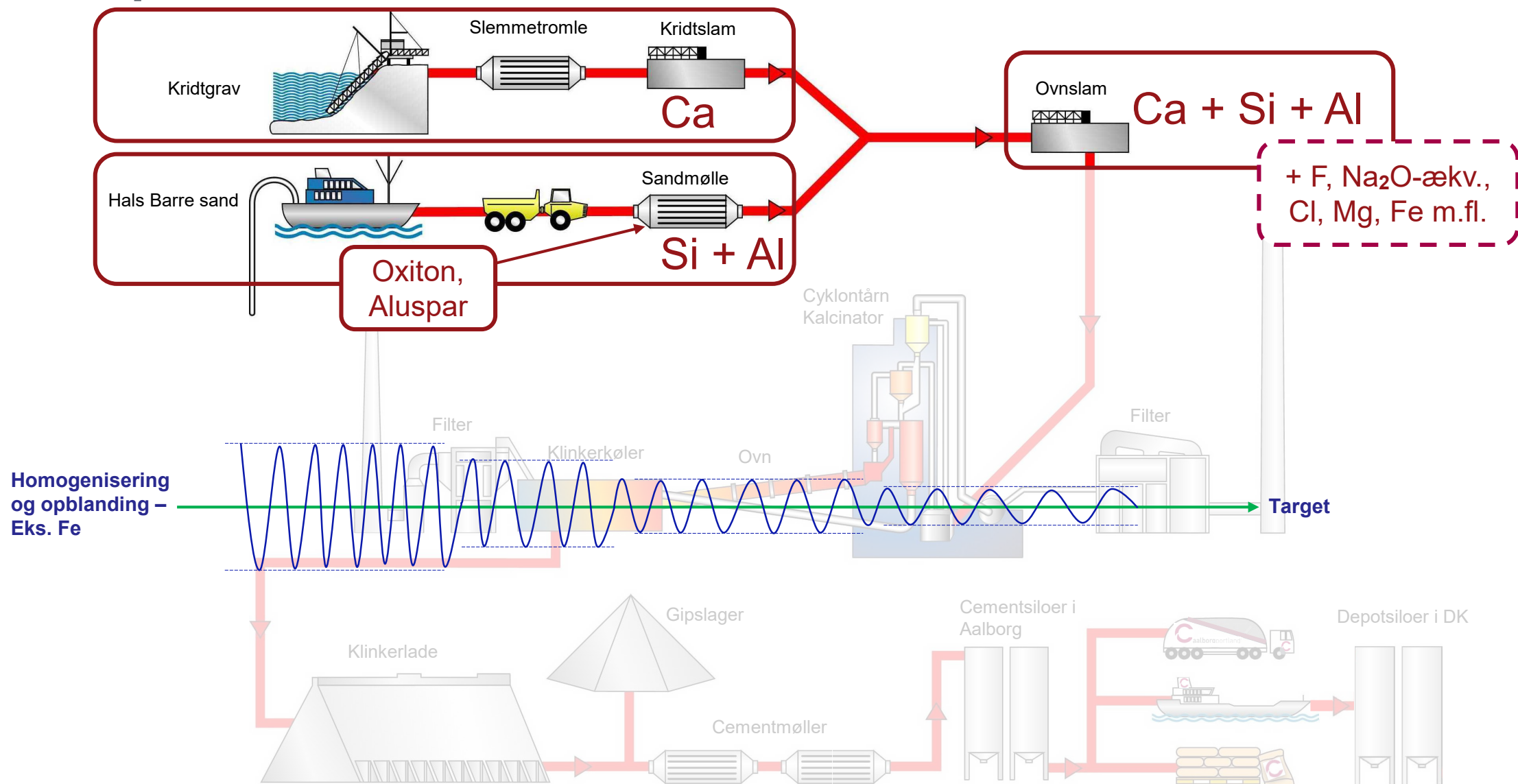
Produktionsprocessen



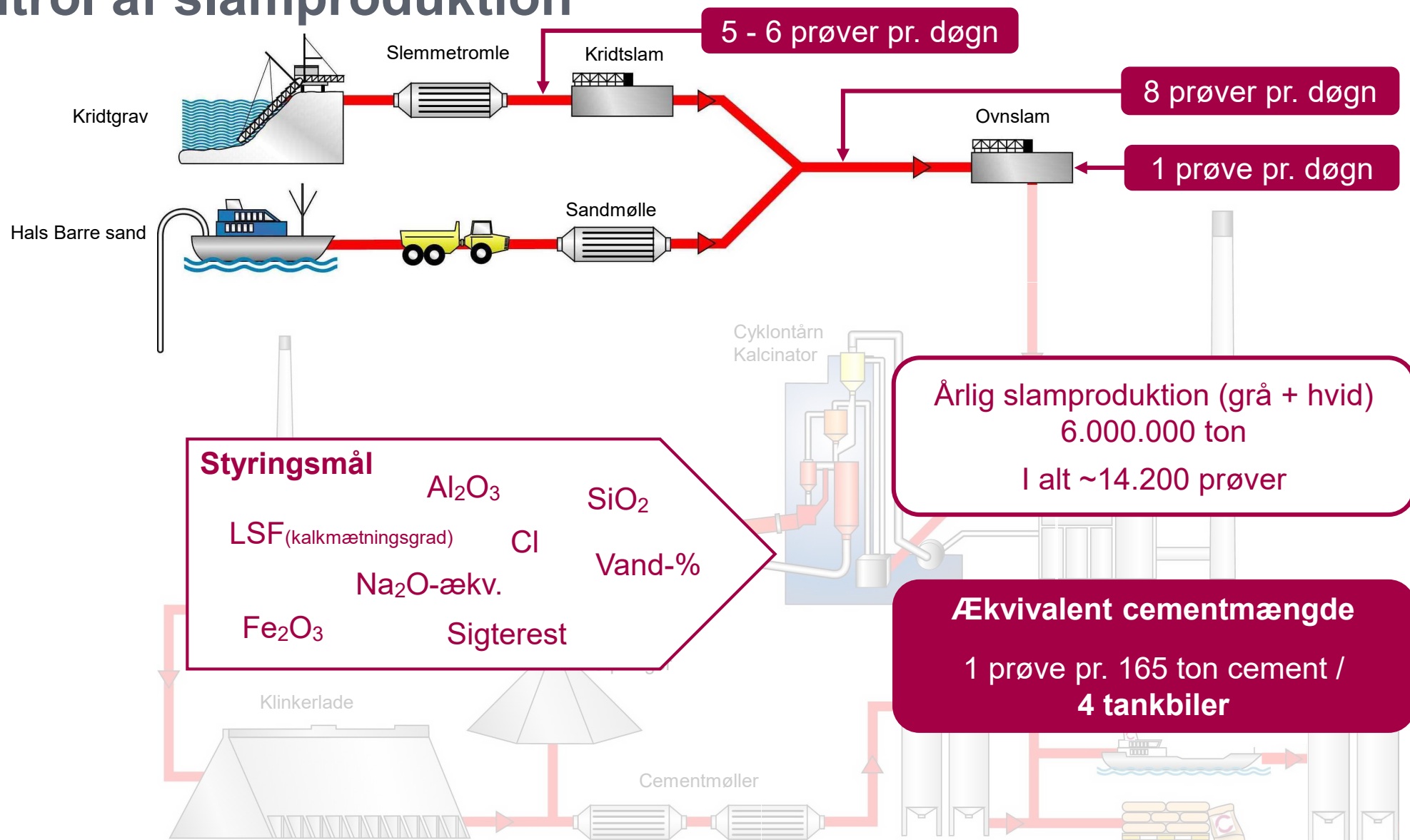
Slamproduktion



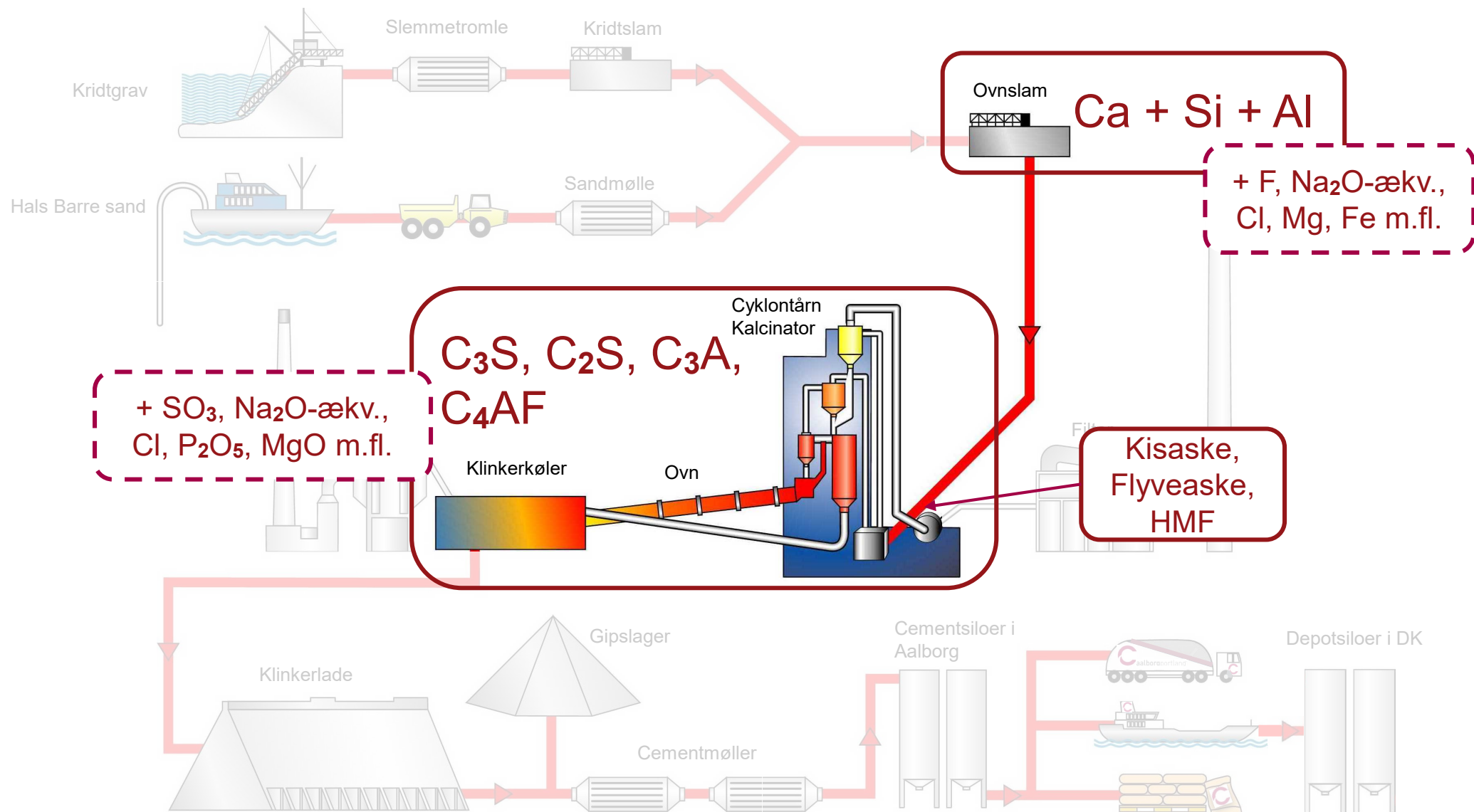
Slamproduktion



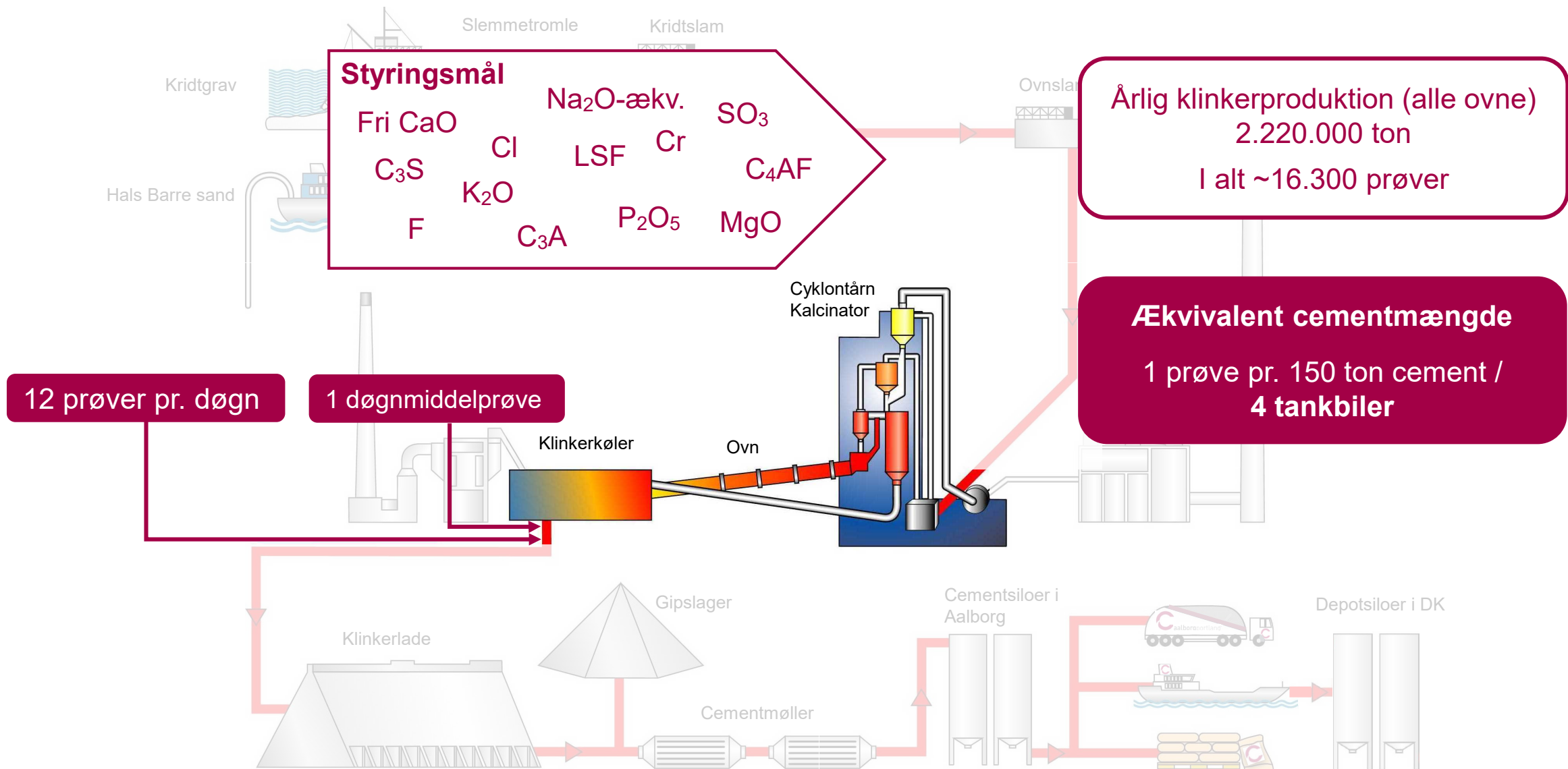
Kontrol af slamproduktion



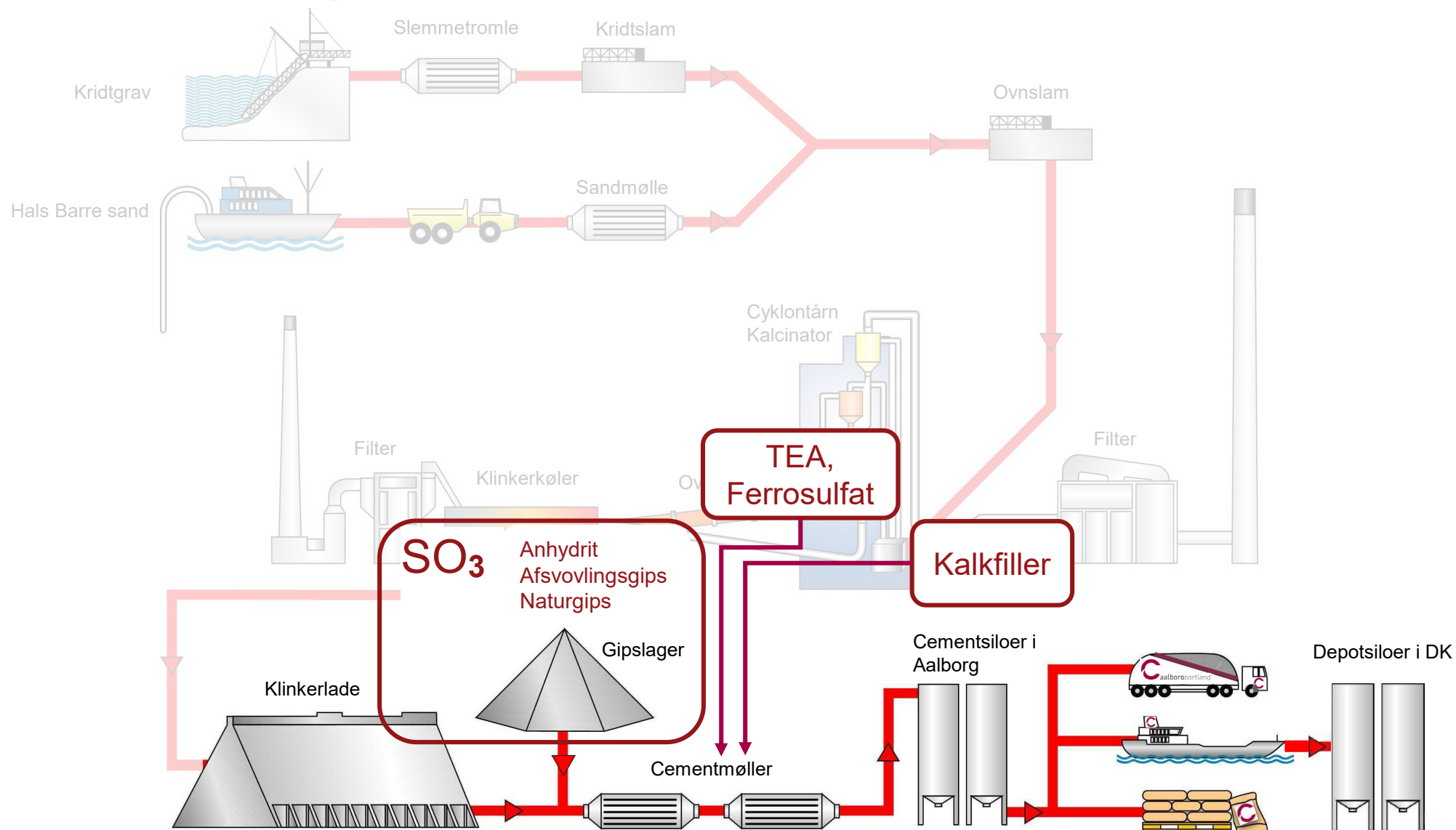
Klinkerproduktion



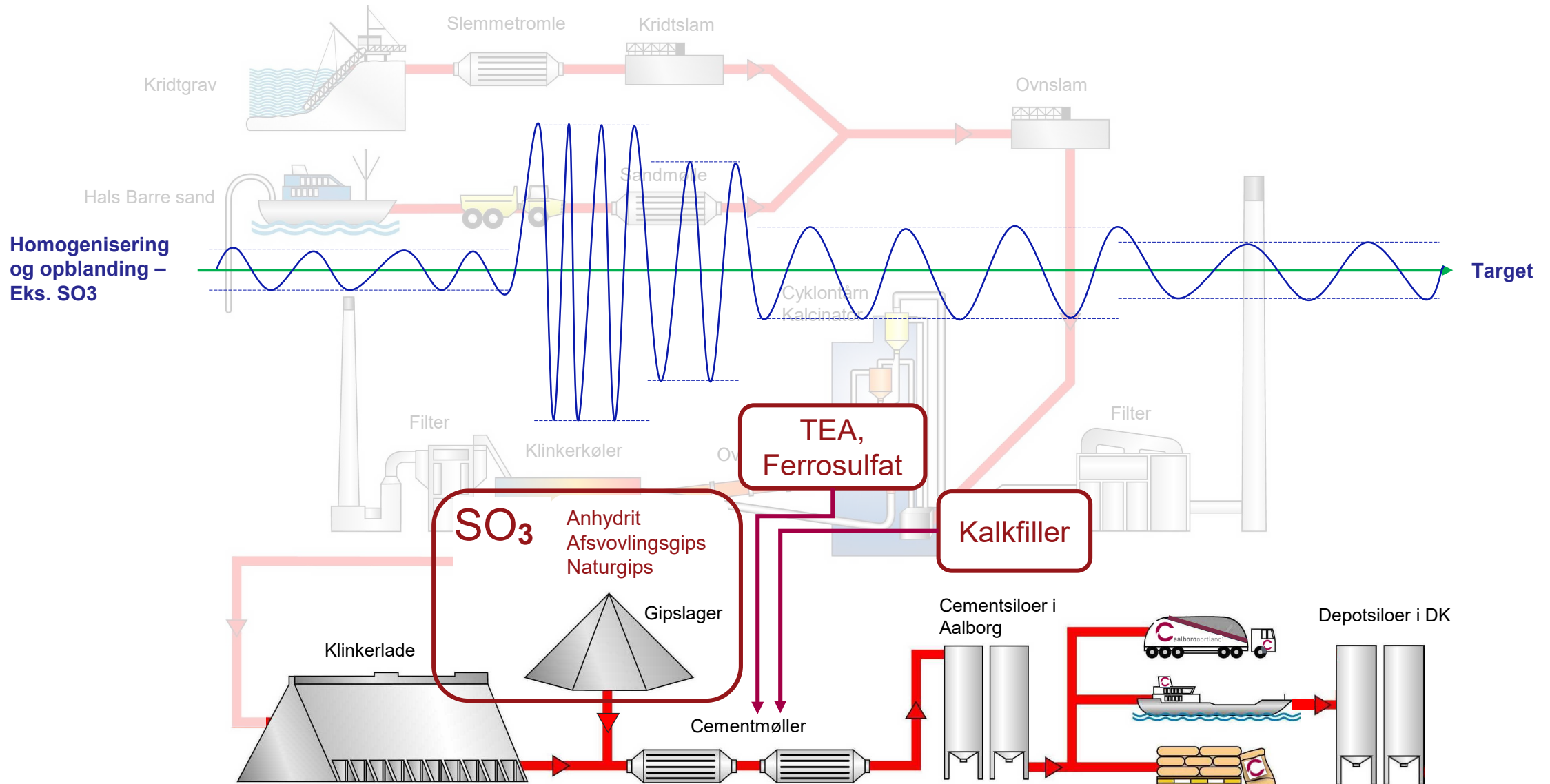
Kontrol af klinkerproduktion



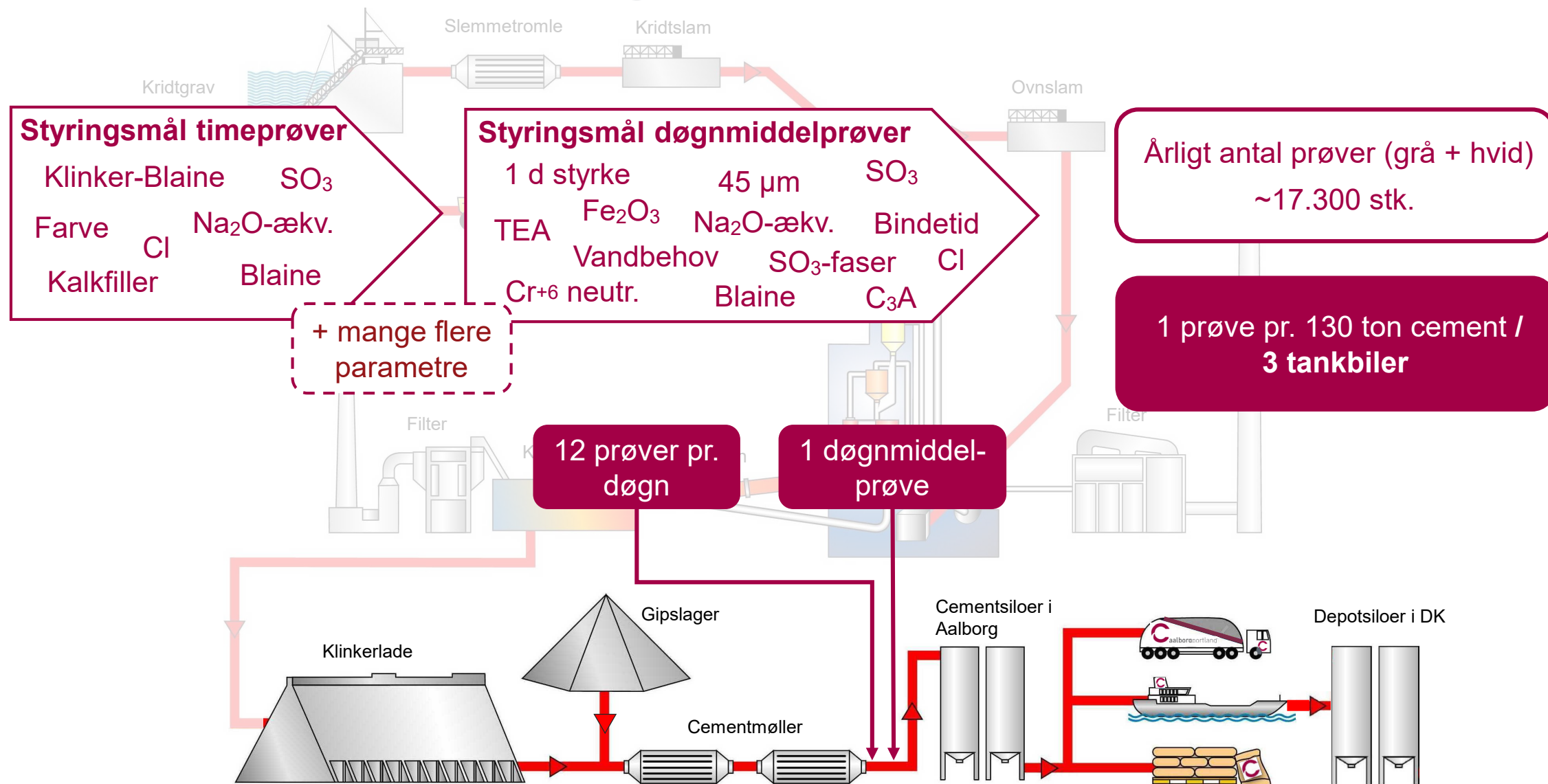
Cementformaling



Cementformaling



Kontrol af cementformaling



| Opsummering kvalitetskontrol

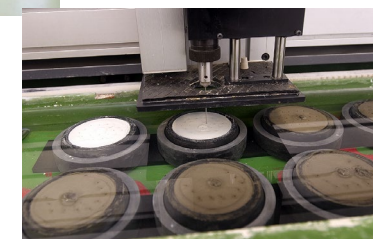
Materiale (Grå + Hvid)	Antal prøver pr. år	Antal analyser pr. år	1 prøve pr.
Kridt- og ovnslam	14.200	287.700	4 tankbiler
Klinker	16.300	293.400	4 tankbiler
Cement	18.000	232.600	3 tankbiler
I alt	48.500	813.700	-
Rapid® cement	12.100	221.000	2 tankbiler



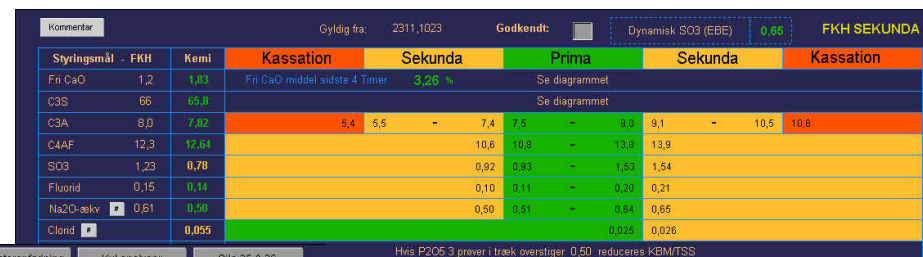
| Opsummering kvalitetskontrol

Materiale (Grå + Hvid)	Antal prøver pr. år	Antal analyser pr. år	1 prøve pr.
Kridt- og ovnslam	14.200	287.700	4 tankbiler
Klinker	16.300	293.400	4 tankbiler
Cement	18.000	232.600	3 tankbiler
I alt	48.500	813.700	-
Rapid® cement	12.100	221.000	2 tankbiler

Krav iht. DS/EN 197-1	Antal prøver pr. år	Antal analyser pr. år	1 prøve pr.
Rapid® cement	104	3.550	240 tankbiler



Alt styres fra kontrolrummet





Når noget går skævt...

- Case: Rapid cement med øget finhed
- Case: Lavalkali cement med lavt styrkeniveau

| Case: Rapid cement med øget finhed

Afvigelse

- Større mængde Rapid cement produceret på cementmølle 8-9 med øget finhed (Blaine)
- Gennemsnitligt ligger Blaine-målinger på *mølleprøver* indenfor kvalitetsmål men udenfor de skærpede krav gældende for Metro Cityring projektet
- Én siloprøve med afvigende Blaine i forh. til krav til Metro Cityring projektet



| Case: Rapid cement med øget finhed

Afgrænsning

- Produktionsdata: Cementen er produceret til én silo – silo 16

Afhjælpning

- Cementmølle 7-10 producerer Rapid cement med normal Blaine til silo 22
- Rapid cement i silo 16 opblandes i skibslaster med Rapid cement fra silo 22.
Blandeforholdet beregnes på baggrund af Blaine-målinger på cement fra de to siloer
- Opblandingen styres i forbindelse med lastning og losning af skib



| Case: Rapid cement med øget finhed

Årsag

- Cementmølle 8 pakker pga. føddning med en højere andel sværere formalelige klinker fra klinkerladen

Korrigerende handling

- Cementmølle 8-9: Styringsmålet for klinker-Blaine øges og kalkfillertilsætningen reduceres => Blaine indenfor kvalitetsgrænser



| Case: Lavalkali cement med lavt styrkeniveau

Afvigelse

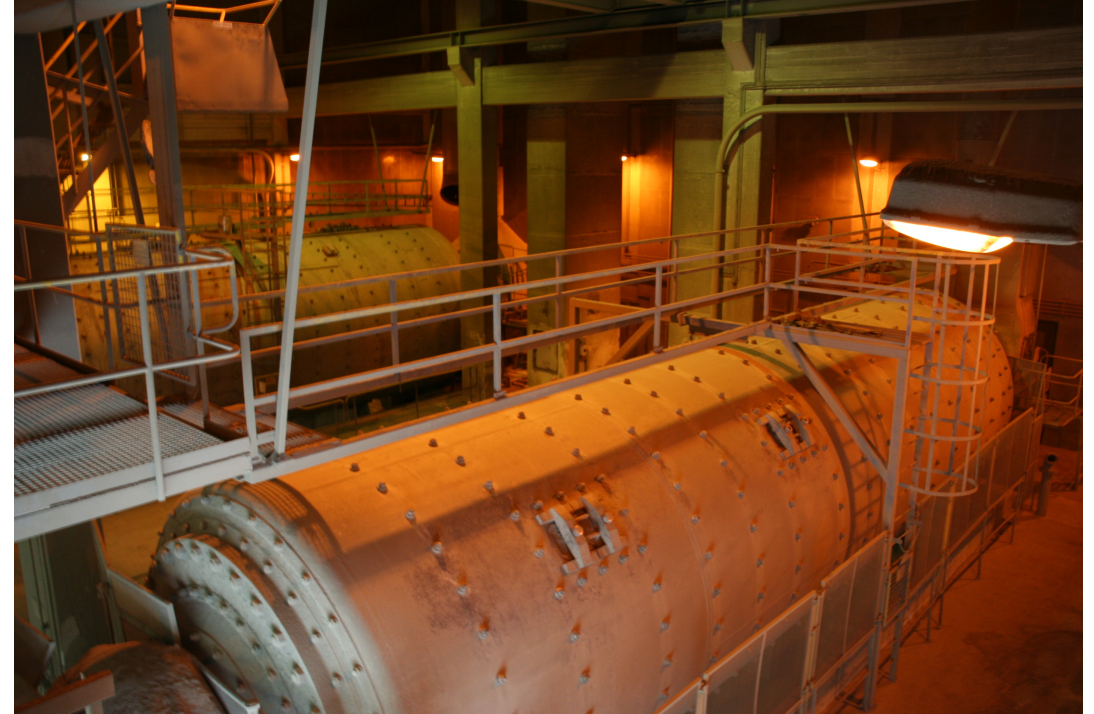
- August 2018 produceres klinker svarende til ét års afsætning af Lavalkali cement
- C_3S -indhold er bevidst nedsat for at sænke 28 døgns styrken til target – dvs. 58 MPa
- Cementformaling undervejs. Kontrol af C_3S og styrker er OK
- Ny cementformalingskampagne i september 2018: 28 døgns styrkerne ligger lavere – dvs. i nedre halvdel af kvalitetsintervallet



| Case: Lavalkali cement med lavt styrkeniveau

Afhjælpning

- Blaine (finheden) øges med små step i forb. med formalingskampagner
- Den forventede og erfaringsmæssige effekt på styrkeniveauet udebliver
- Blaine øges en sidste gang i februar 2019
- Effekt registreres og 28 døgns styrken ligger nu omkring target på 58 MPa



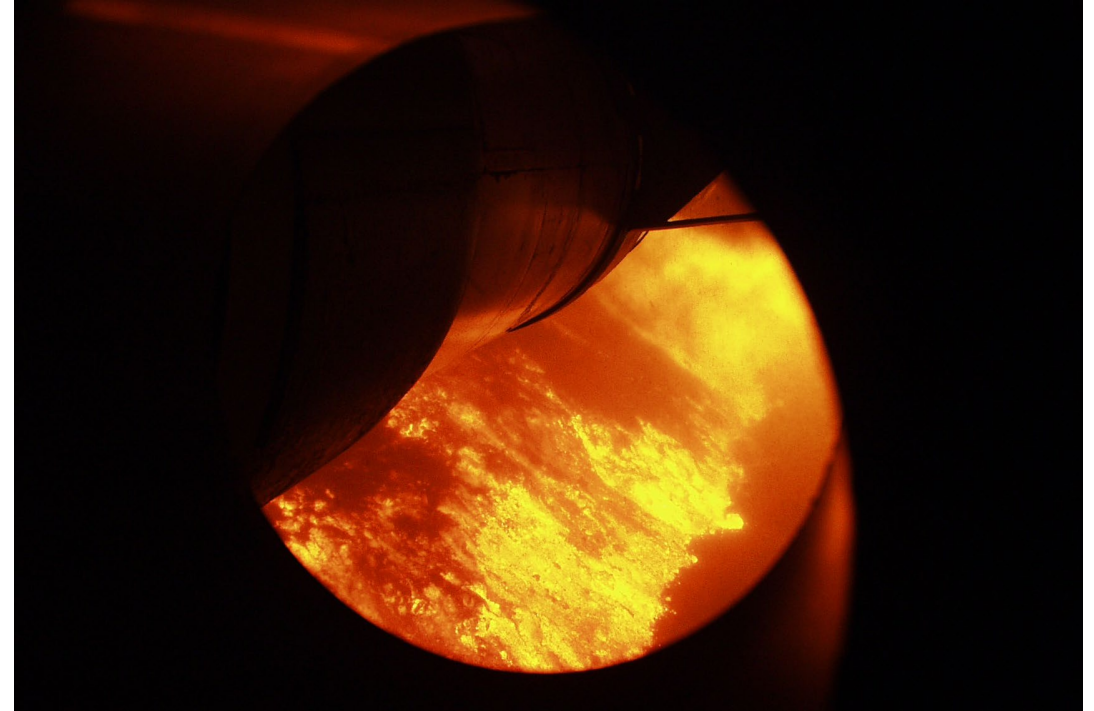
| Case: Lavalkali cement med lavt styrkeniveau

Årsagsanalyse

- Undersøgelse af cementprøver der repræsenterer klinker fra hhv. tidligere produceret batch (2017) og ny batch (2018)
- Undersøgelserne viser faldende C_3S og stigende fosfat i cementen. Fosfat stabiliserer C_2S => der dannes mindre C_3S

Korrigerende handling

- Øget fokus på fosfat fra alternative brændsler under efterfølgende klinkerproduktioner





Kvalitetssikring i cementproduktion