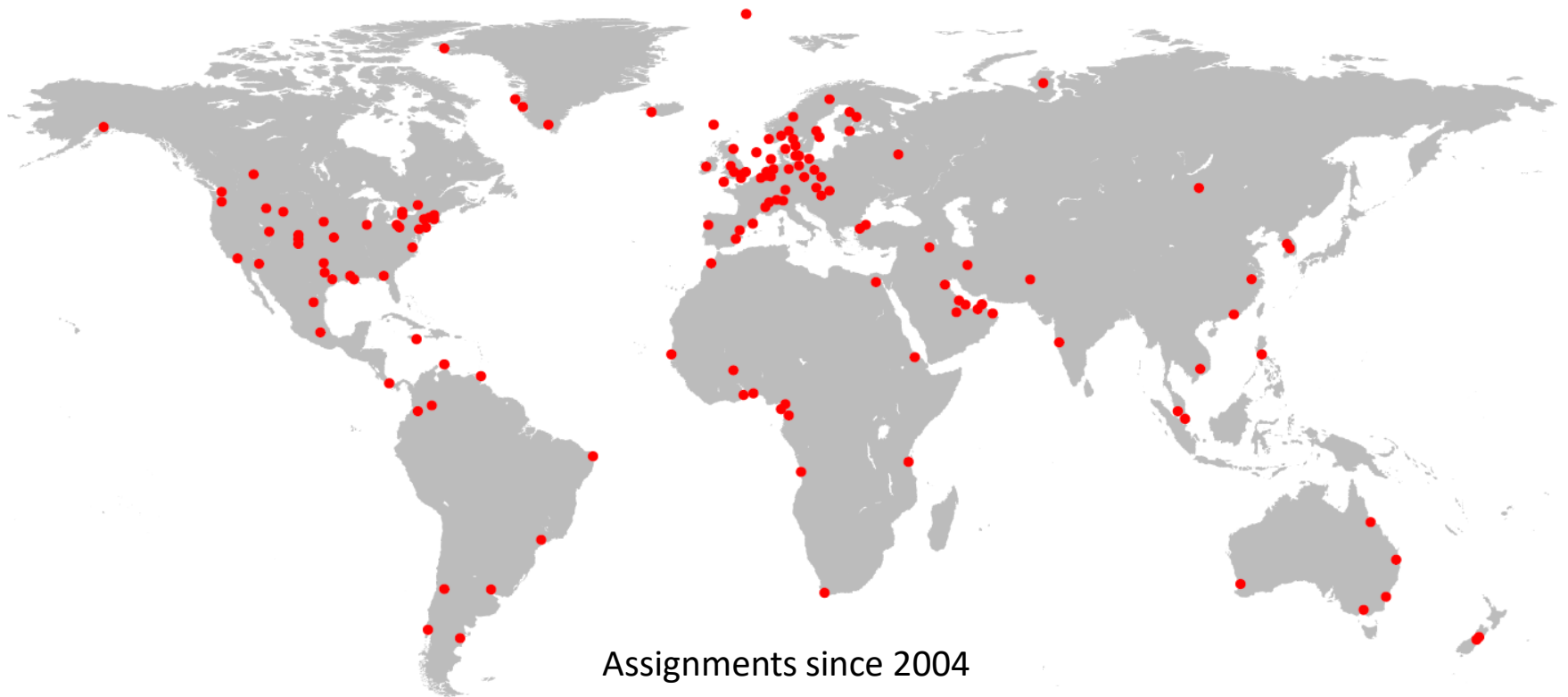


# Dansk Beton Dag 2023: Genbrugsbeton

Peter Laugesen  
Pelcon Materials & Testing ApS



Assignments since 2004

# Genbrugsbeton

## Indhold:

1. Regler og krav
2. Risici ved projektering
3. Praktiske forhold
4. Eksempler på god anvendelse - og dårlig!
5. Nyt MUDP projekt om øget anvendelse af den fine fraktion

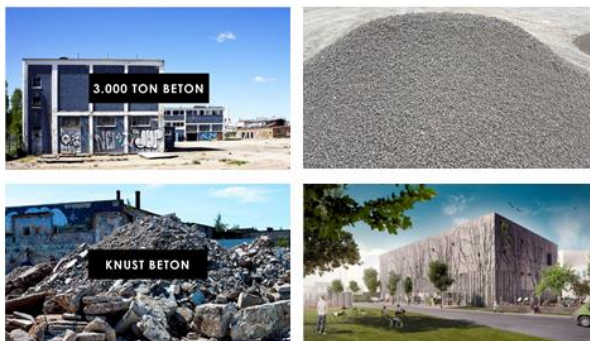
- Genbrugsbeton bliver nu efterspurgt i stadig større grad – dermed sparer vi (lidt) CO2 og samtidig imødegår den stigende råstofmangel.
- Reglerne er nu tilrettet så der er mulighed for at blande betonerne med en stor mængde genanvendt tilslag, men det skal til gengæld sikres at kvaliteten opfylder de nye krav. Det kræver at alle parter forstår faldgruberne og udfordringerne.
- Norrecco har initieret et nyt projekt om øget anvendelse af den fine fraktion i genanvendte materialer, et projekt som har opnået støtte fra MUDP og med deltagelse af Norrecco, FL Smidt, Aalborg Portland, Unicon, MIS Recycling og PELCON. Projektets ambitioner præsenteres.

# Genbrugsbeton

Udvalgte PELCON projekter med genbrugsbeton, 100% genanvendt tilslag i stenfraktionen

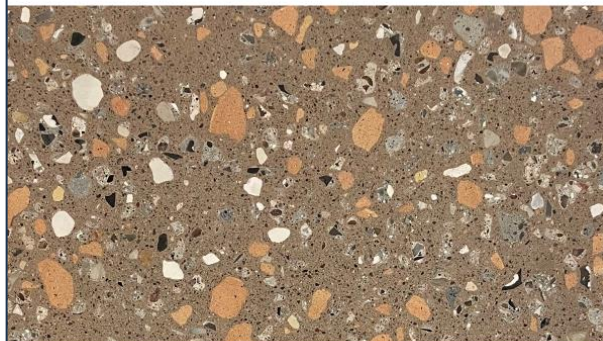
PELCON

Pelican Self Storage, Prags Boulevard



PELCON

Slebet gulv med nedknust beton og tegl, Gl. Grønttorv



PELCON

Upcycle Studios, Ørestad



PELCON

Sydhavn Genbrugscenter



PELCON

Høje Taastrup C Ny Rådhus



PELCON

Fremtidens gårdhave



# 1. Regler og krav - uddrag fra DK NA'en

## E.3.3 Genanvendt tilslag

Kravene i dette underpunkt omfatter genanvendt tilslag. Desuden omfatter de nedknust procestilslag anvendt af en gruppe af betonproducenter i mængder > 5 % af den totale tilslagsmængde, som angivet i punkt E.3.2.

### Generelle krav:

- b) Kan kun anvendes til beton i normal eller skærpet kontrolklasse.
- c) Kan kun anvendes i eksponeringsklasse X0 og XC1, medmindre tilslagsproducentens produktionssystem følger dokumenterede procedurer, der sikrer, at tilslaget udelukkende stammer fra betoner i eksponeringsklasser svarende til den ønskede anvendelse i tilslaget. For genanvendt tilslag, hvorom der ikke foreligger forhåndsviden skal frostbestandighed og alkalireaktivitet dokumenteres for relevante eksponeringsklasser, ved supplerende undersøgelser i form af hhv. frost-tø-prøvning samt betonprismetest eller petrografisk dokumentation af indhold af alkalireaktive partikler.

## Uddrag fra DK NA'en

### Supplerende krav:

- d) tilslaget skal sorteres i fint og groft.
- e) densitet, absorption og chloridindhold skal bestemmes ved prøvning med samme metoder og hyppighed samt krav til løbende kontrol som gældende for naturligt tilslag, jf. DS/EN 12620 og dette nationale annek, se tabel DK NA-E.1.
- h) betonens E-modul, krybning og udtørringssvind dokumenteres, hvor det er relevant, og det eftervises, i relevant omfang, at det bestemte E-modul, krybning og udtørringssvind er forsvarligt i relation til bæreevne og konstruktionssikkerhed. Metoder og termin er angivet i tabel DK NA-E.3.10.
- i) groft genanvendt tilslag skal opfylde kategorier fra tabel 20 i DS/EN 12620: Rcu95, Rb10-, Ra1-, FL0,2- og XRg0,5-. Bestemmelse skal dokumenteres mindst en gang pr. år.
- j) groft genanvendt tilslag skal opfylde kategorier (Rcu95, Rb10-, Ra1-, FL2-, XRg1-). Bestemmelse skal dokumenteres mindst en gang pr. år.

## Uddrag fra DK NA'en

Tabel DK NA-E.9 – Krav for anvendelse af genanvendt tilslag

Anvendelse i vægt-% af den totale tilslagsmængde	≤ 5 %	> 5 %	
		Styrkeklasse ≤ C35/45	Styrkeklasse > C35/45
	b. - c. - e. - j. <sup>1)</sup>	Krav: ≤ 10 % fint og ≤ 20 % groft Prøvning: b. - c. - d. - e. - i. Krav: > 10 % fint og/eller > 20 % groft Prøvning: b. - c. - d. - e. -h. - i.	Krav: ≤ 10 % fint og ≤ 10 % groft Prøvning: b. - c. - d. - e. - i. Krav: ≤ 20 % fint og ≤ 50 % groft Prøvning: b. - c. - d. - e. - h. - i.
<sup>1)</sup> I denne gruppe kan anvendes genanvendt tilslag der stammer fra beton, der ikke stammer fra konstruktionsbeton, f.eks. rør og betonvarer.			



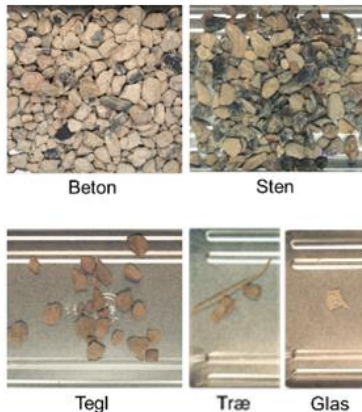
Genanvendt tilslag skal stamme fra beton, der stammer fra konstruktioner. Beton, der stammer fra produkter som rør, brøndgods, betonvarer, belægningssten, porebeton, letklinkerblokke og puds og mørtel fra murværkskonstruktioner, må ikke anvendes, dog må beton med cement og tilslag, som opfylder dette nationale annek, gerne anvendes. I tvivlstilfælde skal det dokumenteres, at betonen er sammensat som konstruktionsbeton.

## Dokumentation af materialer i laboratoriet (afhængig af eksponeringsklasse)

### Densitet / absorption



### Renhed



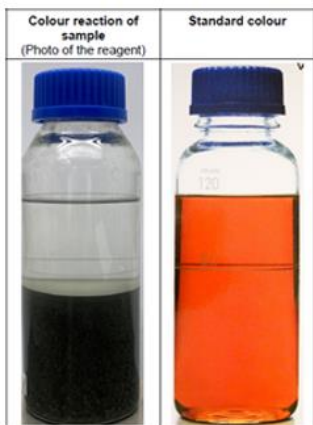
### Sigteanalyse



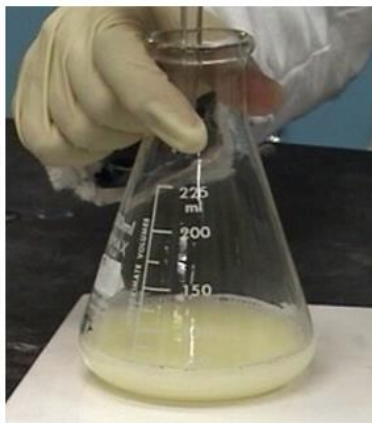
### Kornforms-indeks



### Humusindhold



### Chlorid- og alkaliindhold



### AKR



### Syreopløselig sulfat



# Dokumentation af beton i laboratoriet (ved behov)

E-modul



Krybning – 2 mdr.



Udtørringssvind



Frost





## 2. Risici ved projektering

Bygherrerne er meget positive; rådgiverne mangler ofte erfaring med genbrugsbeton:

- *Dyrere betonen...*
  - NEJ, ca. samme pris (dog ikke for små leverancer)
- *Lavere styrke...*
  - NEJ styrken kan sagtens opnås
- *Lavere E-modul...*
  - NEJ, ikke meget lavere end moderne betoner (Tabel 3 i Eurocode 2 passer ikke - helt)
- *Behov for særlig prøvning?*
  - Det tager ekstra tid: Beslut tidligt om det er nødvendigt!
- *Leverancesikkerhed af genanvendt tilslag?*
  - Det kan være et problem: Forbered i god tid
- *Hvilke krav skal stilles til det genanvendte materialet?*
  - CE mærkning, dokumenteret prøvning og opfyldelse af DK NA kravene
- *Indplacering af "eksponeringsklasser" ift. gamle konstruktioner/normer?*
  - Evt. ekstra prøvning
  - Spørg gerne hvis I er i tvivl

### 3. Praktiske forhold

- Screening af donorbetonen
  - Vi har udviklet et fast system
  - Tegninger / besigtigelse / kerneanalyser
  - Indplacering af donorbetonens miljøklasse(r)
- Fraktioneret nedrivning → Undgå forurening
  - Nøje oplæring af ALLE deltagere (→ Certifikat ?)
  - **Én fejltagelse i dumperen er nok til at ødelægge en stockpile**
  - Mulig forurening fra hjulene ved "*opbygning af bunker til 2. sal...*" ☹
- Kræver SUPER-styring af projekt og alle processer

## Praktiske forhold

- 100 % genanvendt stentilslag er anvendt i alle PELCON projekter
  - Én bred fraktion 4-22mm (4-25mm) er besparende for håndtering og dokumentation; bunken fraktionerer ikke synderligt når først den er transporteret og stockpilet
- Sikre veludført knusning, sortering, sigtning inkl.
  - Certificering, bunkekontrol, laboratorieundersøgelser, CE-mærkning
- Måske flere betonkvaliteter (krævede ingen opdeling for fx Taastrupgård)
- Opbygning af lager inden betonproduktionen starter
- Hos betonproducenten
  - Bunkerne skal holdes våde inden brug → vandmættet tilslag

# Genbrugsbeton – let at pumpe og udstøbe



# Ensartet betonkvalitet på Pelican projektet

- Luftblandet genbrugsbeton fra certificeret, mobilt blandeværk:
  - Vanddosering i hver sats blev finjusteret til at have samme Wattmeterværdi efter 120 sek. blandetid
  - Fuld tjek på fugt i sand ved udtørringer
  - Samme dosering af tilsætningsstoffer
  - Luftblandingsmidlet fortyndet for optimeret indblanding og doseringsnøjagtighed
  - Kun måling af fugt i sten ved opstart første dag... & kontrol af fugt i friskbeton
- Altså fokus på hvad der kommer ud af blanderen, snarere end hvad der går ind i blanderen

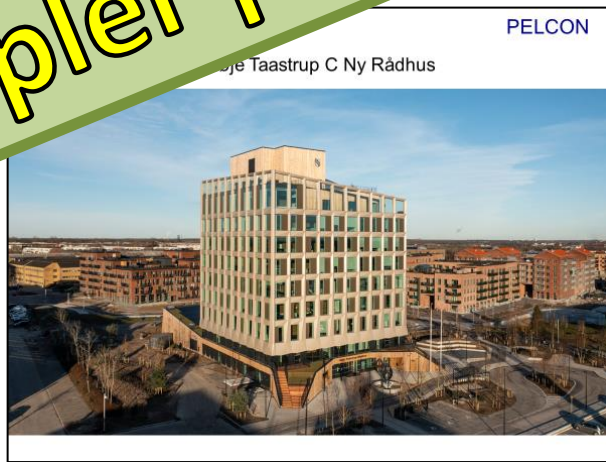
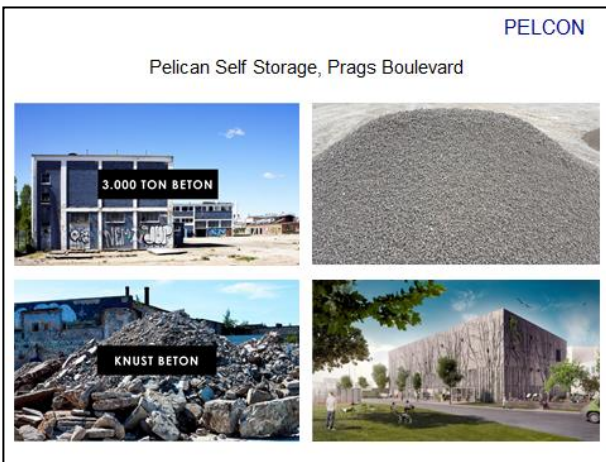
Prøve ID	Højde [mm]	Diameter [mm]	Masse [g]	Last [kN]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Trykstyrke [MPa]
334-3	300	150	11.129	572,7	2100	32,4
334-4	300	150	11.317	592,5	2130	33,5
812-3	300	150	11.197	553,1	2110	31,3
812-4	300	150	11.192	565,5	2110	32,0
824-3	300	150	11.341	573,4	2140	32,4
824-4	300	150	11.317	583,7	2130	33,0
895-3	300	150	11.264	570,0	2120	32,3
895-4	300	150	11.244	583,6	2120	33,0
899-3	300	150	11.357	588,2	2140	33,3
899-4	300	150	11.364	600,2	2140	34,0
908-3	300	150	11.472	597,0	2160	33,8
908-4	300	150	11.381	581,0	2150	32,9
919-3	300	150	11.336	574,3	2140	32,5
919-4	300	150	11.319	561,6	2140	31,8
989-3	300	150	11.289	549,2	2130	31,1
989-4	290	150	10.933	530,9	2140	30,0
999-3	300	150	11.341	558,6	2140	31,6
999-4	292	150	10.993	533,7	2130	30,2
1090-3	300	150	11.451	570,5	2160	32,3
1090-4	300	150	11.378	590,0	2150	33,4
1097-3	300	150	11.322	555,1	2140	31,4
1097-4	300	150	11.388	559,0	2150	31,6
Middelværdi					2140	32,3
Standardafvigelse					20	1,1
Karakteristisk trykstyrke, $f_{ck}$						30

## Ensartet betonkvalitet på Pelican projektet



Slebne og polerede gulve - uden revner...

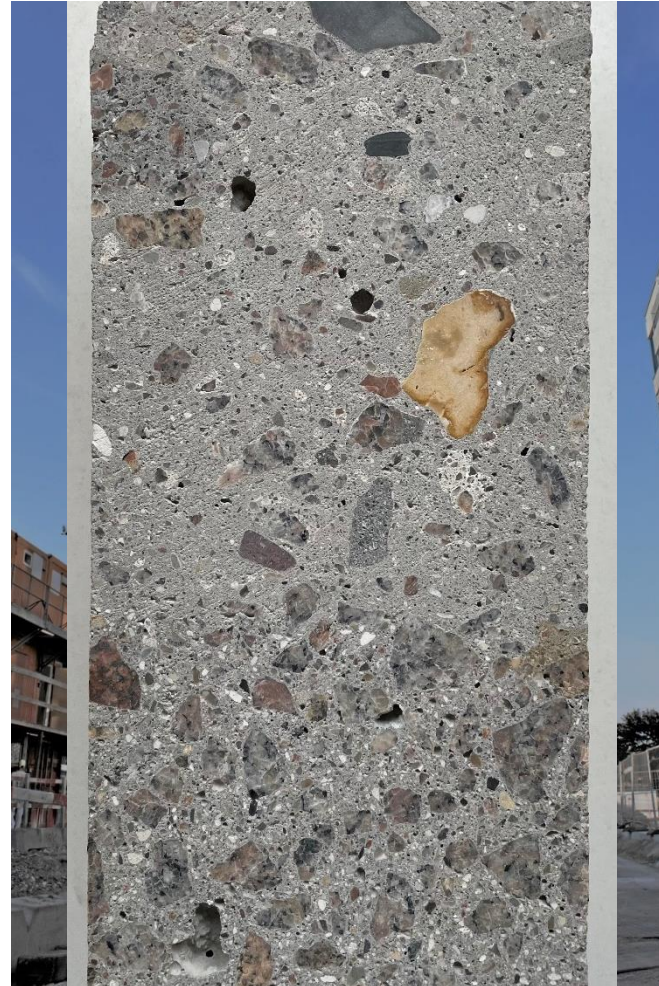
4. Eksempler på god anvendelse - og dårlig!



**Eksempler på god kvalitet**

# “Katastrofal genbrugsbeton” i bundplade

- Et **eksempel på dårligt kvalitet** er den vældigt omtalte bundplade på Islands Brygge
- Her var det helt store problem imidlertid ikke så meget at der blev brugt nedknust beton, som at v/c tallet var alt for højt!
  - Og så holder styrken naturligvis ikke:  
Fck 12 MPa
- Til ”Fremtidens Gårdhave har Unicon leveret en E-40 genbrugsbeton
  - Den kunne faktisk være brugt til Njalstårnets bundplade
  - Men jeg vil naturligvis **ikke anbefale** genbrugsbeton til højhuse!



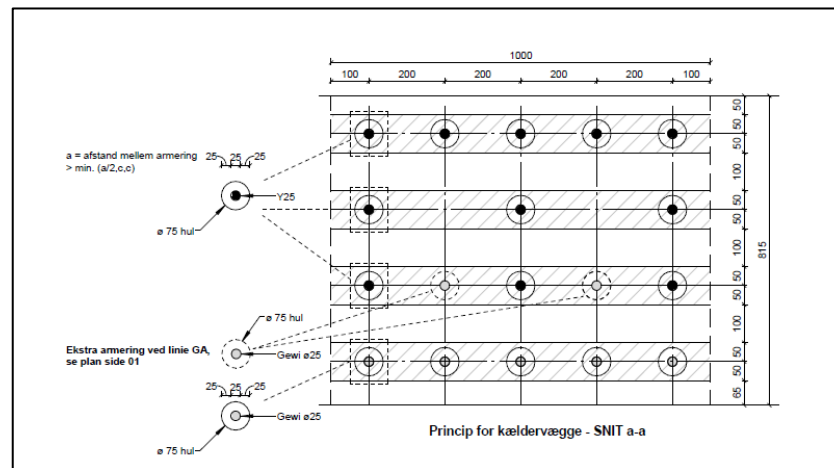
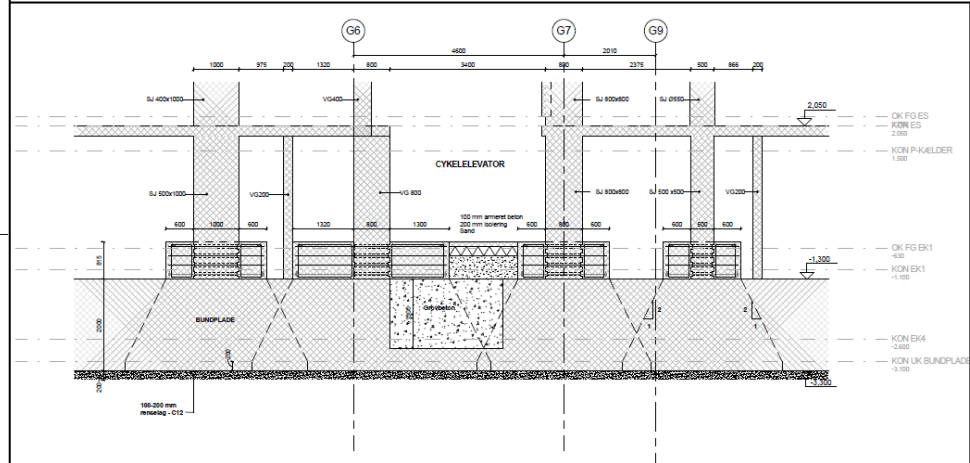
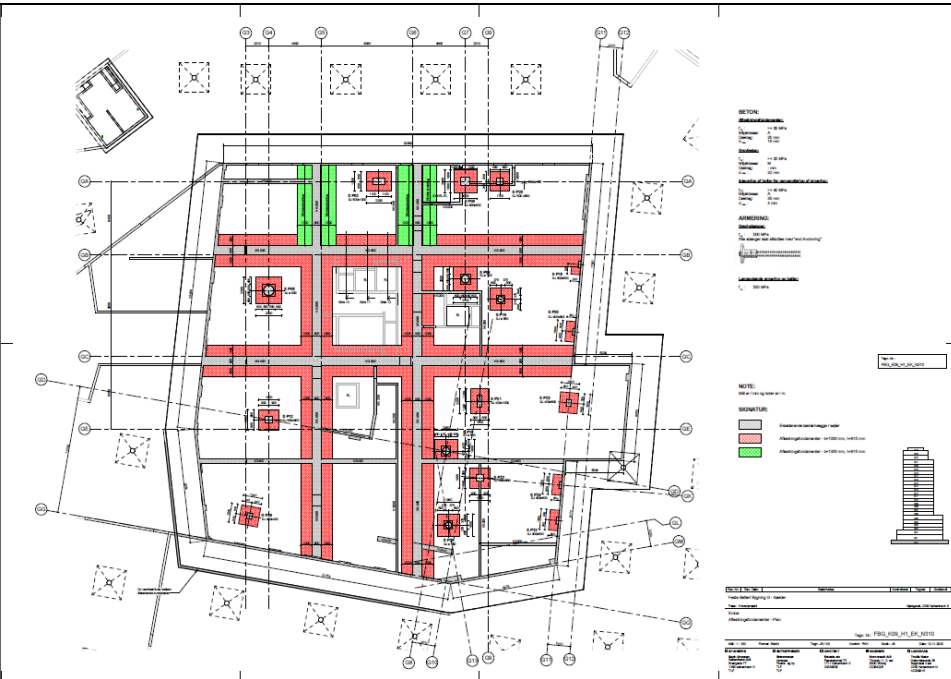


# Transformation af bundpladen

- PELCON har efter-dokumenteret hele byggeriet og de efterfølgende udbedringer ved mange (!! ) borekerneanalyser mv.
- Bundpladen:
  - Påstøbt gulv i kælder blev fjernet ved udkæring og varsom borttagning og erstattet af "aflastningsfundamenter" og ny plade
  - Dermed blev den svage bundplade transformeret til stabilgrus...
  - Alt er udført under skarp 3. parts kontrol, gennemgået af "4. parts kontrol" og godkendt
- Njalstårnet ender måske som det bedst dokumenterede byggeri i Danmark...



# Aflastningsfundamenter

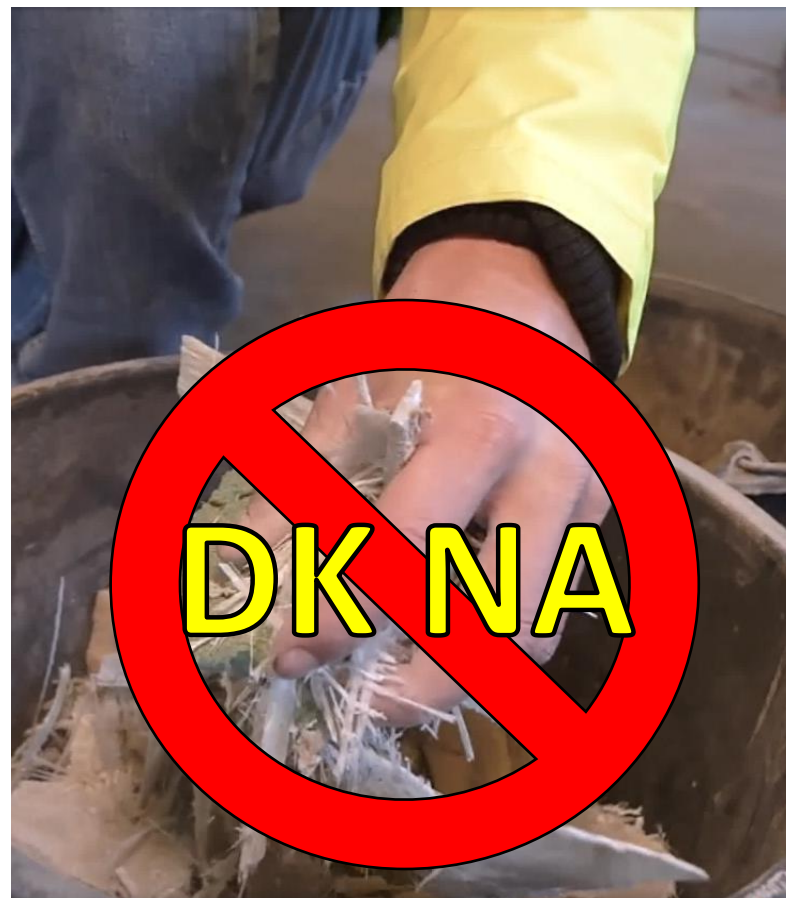


# Aflastningsfundamenter



## Dårlig kvalitet genbrugsbeton - 2

- De Klondyke-lignende tiltag flere steder i DK, med at nedknuse og genanvende ”hvad som helst” til beton tager jeg skarpt afstand fra!
- Alle er nødt til at følge normen for relevant beton:
  - Materialer skal dokumenteres iht DS/EN 206 DK NA og DS/EN 12620
  - For ikke at være ulovlige
  - For at undgå holdbarhedsproblemer, fx sulfatskader fra granulerede gipsplader(!!!)
- Brug kun reelt dokumenteret genanvendt tilslag, der opfylder alle krav
- Ellers risikerer vi en ny generation betonskandaler, denne gang med genbrugsbeton



## 5. MUDP project

”Udvikling af teknologi til 100% reel genanvendelse af nedrivningsbeton i ny cement og beton”

Projektet forløber 2023-2025, og omfatter bl.a.:

1. Forbedret knusning for at få renere sten med mindre mørtel (og færre porøse flintsten)
2. Yderligere bearbejdning for at opnå renere sand lavere absorption (lettere at styre betonproduktion)
3. Større mængde ”ren” cementpasta til oparbejdning
4. Afprøvninger og fuldskalaforsøg

Deltagerne:

- Norrecco A/S
- FL Smidth A/S
- Aalborg Portland A/S
- Unicon A/S
- MIS Recycling A/S
- Pelcon Materials & Testing ApS



Donor-beton: BBH bygn. 51



# Knuseforsøg – fase 1



## Videre forarbejdning

### Hos FL Smidt

FLS undersøger eksisterende og nye processer og teknologier samt tilhørende porteføljeudstyr til upcycling på industrielt niveau mhp. at opnå:

- Rene sten
- Rent sand
- Ren cementpasta

### Hos PELCON – her den ”ny peberkværn”





”Peberkværnet” & sigtet bigbag med 0-22mm knust beton



# Renere genbrugsmaterialer i hver fraktion



4/22



0,125/4

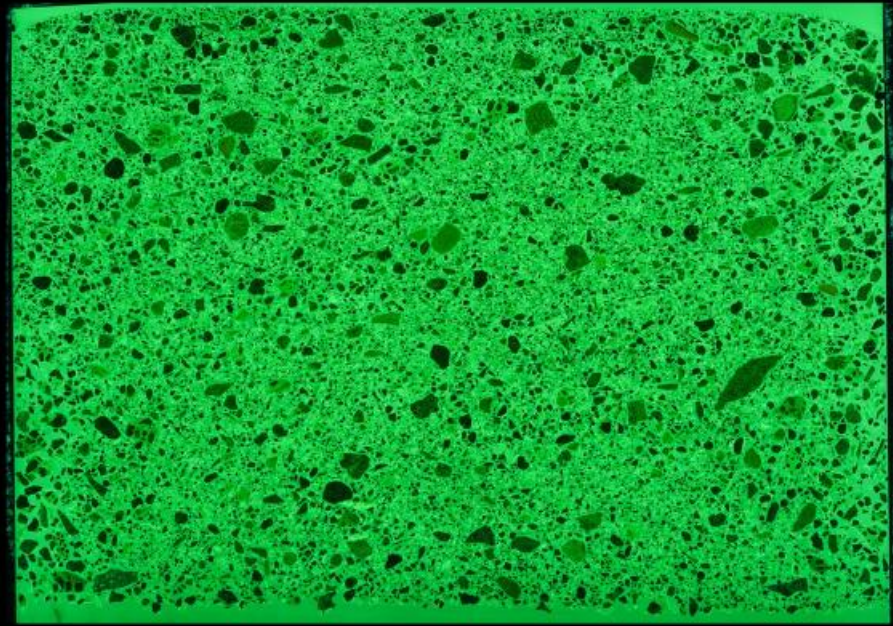


< 0,125

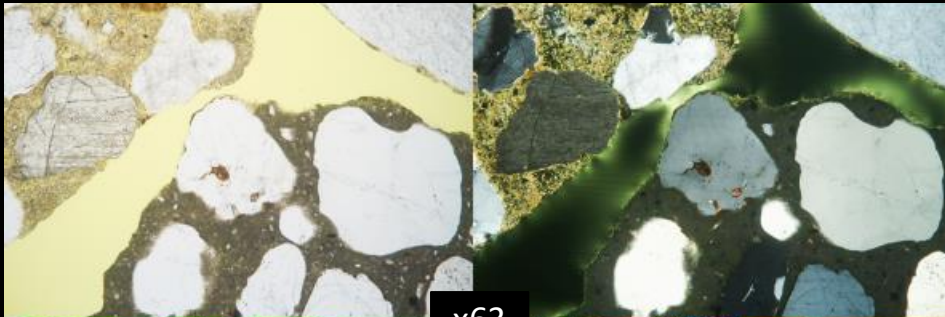
Helt tyndslib af 2-4mm, 30x45mm



Helt tyndslib af 0,125-2mm, 30x45mm

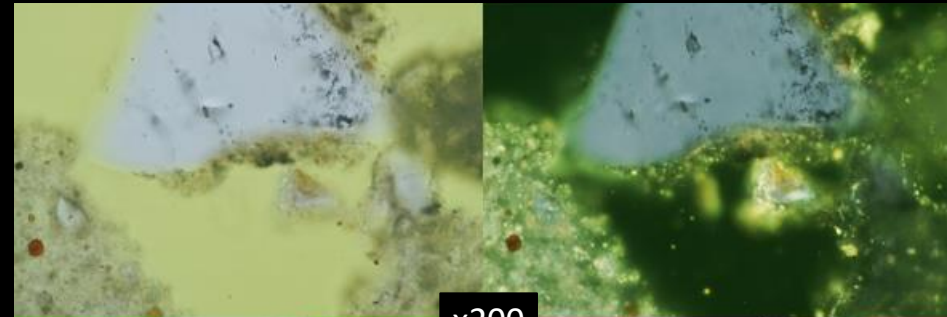


Sammensætning og karbonatisering, 2-4mm

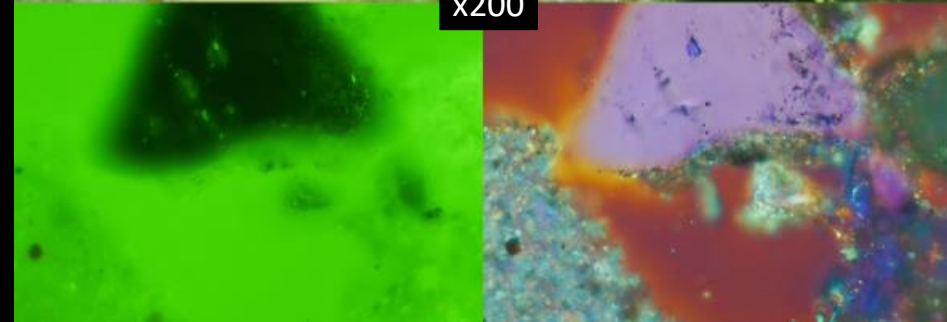
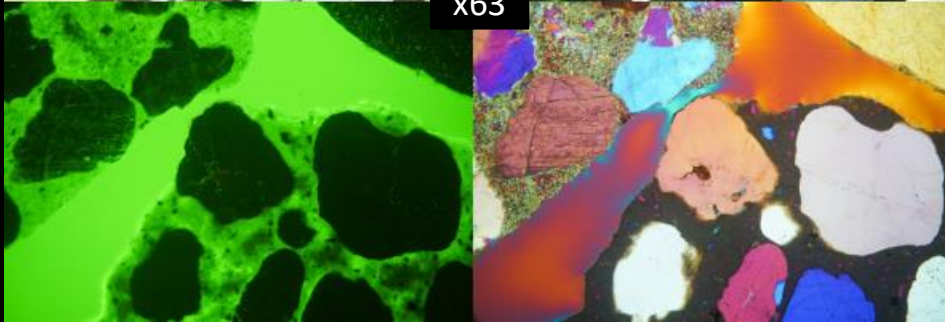


x63

Sammensætning og karbonatisering 0,125-2mm

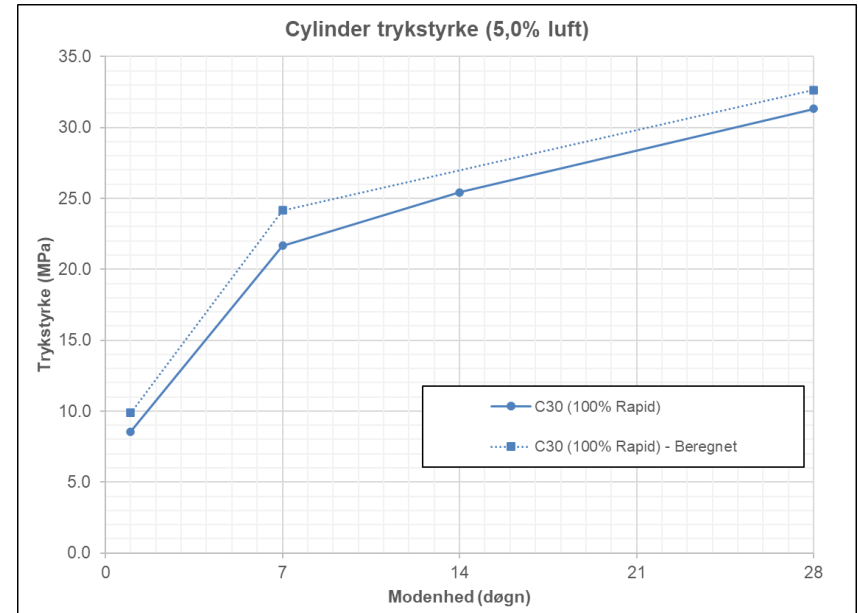


x200



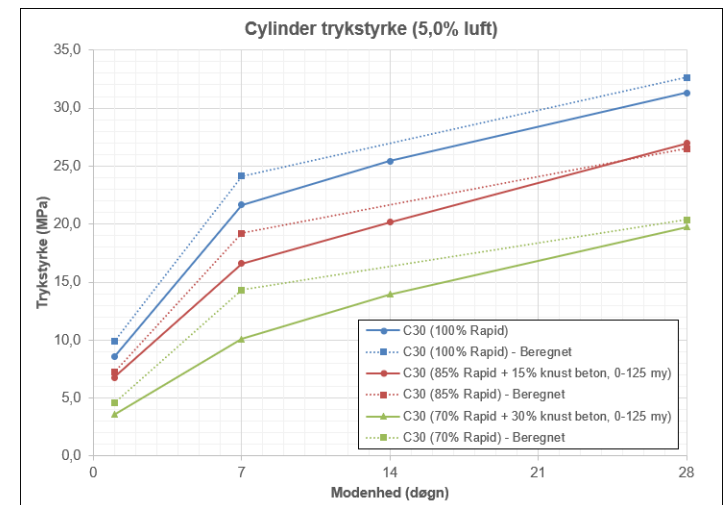
# Beton med 100% genanvendt sten og sand (efter peberkværnen)

- Ren genbrugsbeton:
  - 100% genanvendt sten
  - 100% genanvendt sand
  - 250 kg rapid cement
  - 88 kg FA
  - Ækv. v/c 0.52, SP
  - 5% luft
  - God bearbejdelighed og udstøbelighed
- Styrker lidt under traditionel beton:
  - Fortsat styrketilvækst pga. FA-indholdet
  - Meget lovende resultater for genanvendelse af også sandfraktionen!



# 100% genanvendt sten og sand + delvis erstatning af cement med formalet cementpasta

- Aktivering af "ikke-reageret cement"?
  - Hhv. 15% og 30% erstatning af cementen med nedknust cementpasta
  - Den nedknuste cementpasta havde Ingen styrkeeffekt! (helt som forventet!)
  - **Ingen "ikke-reageret cement"**
- Yngre genanvendt tilslag kan måske have en lille styrkeeffekt...
- Vi ser frem til det videre arbejde
  - Forbedrede knusninger
  - Forbedrede "rensninger" af materialerne
  - Den oparbejdede og processerede cementpasta



## PELCON opgaver med “Bæredygtighed”

- *Make right first time!*
- 15-35% cementreduktion ved skræddersyede mix designs
- Flere genbrugsbeton projekter i gang / på vej
- Dokumentation af ny cementerstatning
- Mulig indføring af slagge/slaggecement i DK
- Alternative materialer... (?)
- (Nyt Dansk Beton projekt om alternative cementerstatningsprodukter)

