

3D printmaterialer i byggeriet

- Hvad skal det kunne!
- Hvad kan man printe med!
- Hvad er målet!

Hvad skal materialet kunne:

- Pumpes
- Flydeevne og formstabilitet
- Langsom afbinding og hurtig afbinding
- Mekanisk stabil og tilstrækkelig styrke
- Må ikke revne
- Skal være bæredygtig
- Skal være konkurrencedygtig

Pumpbarhed og Flydegenskaber:

De vigtigste parametre!

- Ensartet sammensætning i blander og pumpe
- Ingens separation ved pumpestop:
- Der må ikke kunne blokere pumpe, slang eller dysse

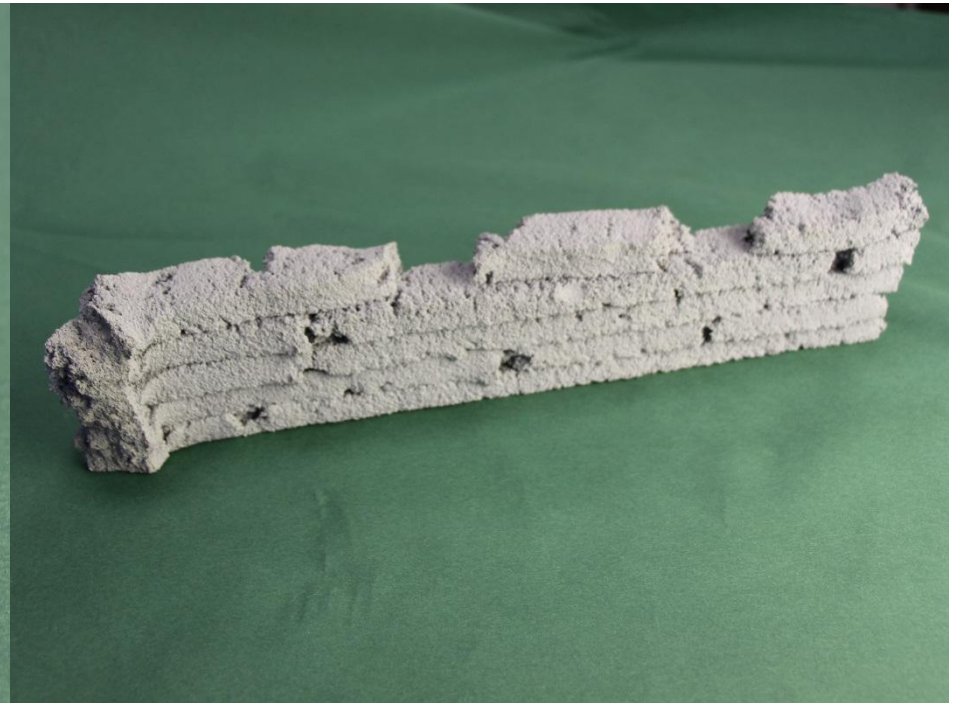
Formbarhed

- Skal kunne danne vedhæftning til tidligere lag
- Skal kunne håndteres af dysse
- Skal være formstabil: Mange tynde lag eller få tykke!





Tyndtflydende:
Tynde lag



Tyktflydende (for tykt!!):
Tykke lag

Materialefunktionalitet:

- Hurtig styrkedannelse: Understøtning af successive lag. Lagkagen må ikke synke sammen!
- Bindersystem skal være robust: skal kunne håndtere ikke ideelle hærdetilstande

Hvor stærkt skal 3D printet materiale være:

Klassiske materialer-Tryk MPa:

- Muremørtel: 1-5
- Mursten: 10-25
- Granit: 85-120
- Kalksten: 70-90
- Leca beton: 10-20
- Beton: 20-70 (typisk 25-45)

3D materialer-Tryk, MPa
prismer:

- Cement: 10-120
- Gips: 5-20
- Polymerbunden: 5-80

Hvad styrer styrkebehovet:

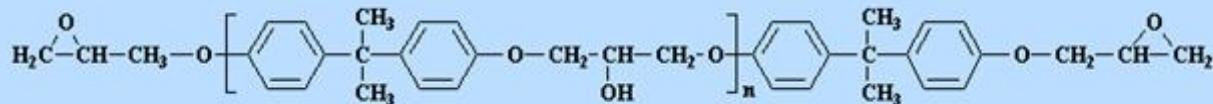
1. Design: Geometri / fordeling af laster
1. Miljøklasse: Fugt/frost/vind

Bindersystemer: Hvad skal man vælge!

- Hvilken geometri påtænker man
- Hvad kan udstyret håndtere (pumpe/føder/dysse)
- Hvad er miljøet

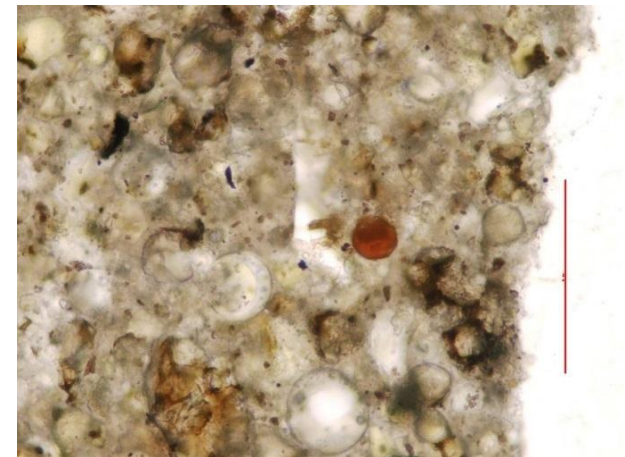
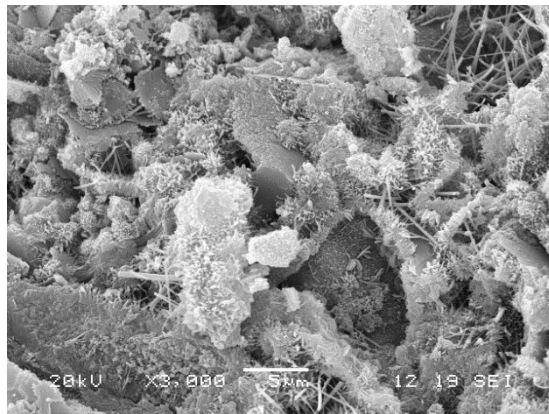
Bindersystemer: (Limen der holder det partiklerne sammen)

- Krystalliserende/uorganiske bindersystemer:
Cement, gips, salte magnesit etc.
- Passiv binder / tørrende: Ler
- Polymer: PVA, stivelse, epoxy/polyester etc.



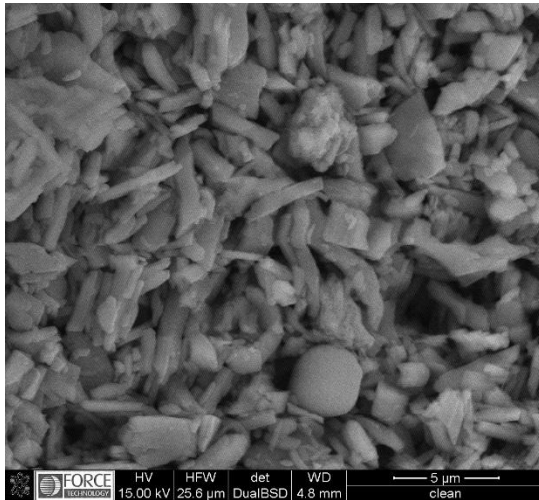
Cement:

- Cement tørrer ikke!!!! – Cement hydratiseres!
- Et cementbaseret system kan betragtes som små kugler i en væskefilm.
- Når Cementen hydratiseres udfældes forskellige nye mineralfaser, som binder partiklerne sammen.



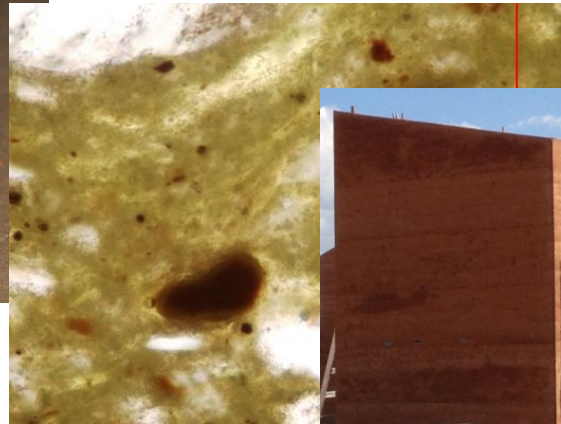
Gips og "salte":

- Strukturen bindes sammen ved at opløste salte krystalliserer.
- Materialet "tørre" i ligevægt
- Hovedparten af vandet bindes i krystallerne



Lerbinder

- Lerminerale er pladeformede og bundet sammen af elektrostatiske kræfter.
- Ler både kan deformeres plastisk og samtidig holde en form ved et givent vandindhold.



Bindermoderator:

- Flyveaske
- Mikrosilika
- Slagge BFS (også primær)
- Kalcineret ler (metakaolinit)
- Ler
- Kalkfiller



Tilslag:

- Sand/knuste bjergarter
- Genvunden beton/tegl/gips
- Slagge/lecanødder
- Plastik kugler/EPS
- Nøddeskaller



Hjælpestoffer:

- Plastificering/flydemiddel
- Viskositet/fortykker
- Accelerator
- Forsinker/retarder
- Luftblander
- Skumdæmper



Svind:

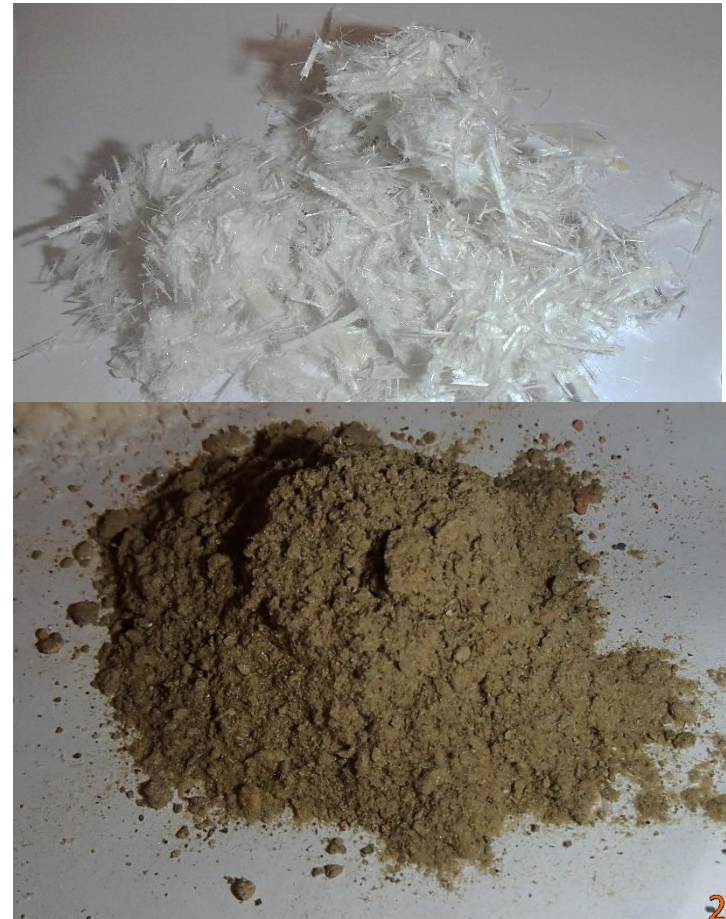
- Fordampning
- Hydratisering
- polymerisering

Konsekvens af svind:

- Mikrorevner
- Svindrevner

Reducering af Svind:

- Mindre finstof /pakning
- Mindre "vand"
- Svindkompenserede kemi
- Mikro og makro fibre



Typisk sammensætning af betonprint i forskellige internationale projekter:

- Højt cementindhold typisk over 500-600 kg/m³
- Tilsætning af over 100 kg flyveaske plus en del mikrosilica
- Tilslaget er typisk i sandfraktionen (stort set rent sand med god geometri)
- Vandcementforhold er lavt, omkring 0,30 eller mindre
- Der er tilsat betydelige mængder superplast.
- Der er tilsat retarder for at styre afbindingen
- Der er ofte tilsat mikrofibere for at reducere svind.
- Højt cementindhold og lavt vandcementforhold giver teoretiske styrker på 80-120MPa. (hvilket der reelt ikke er nødvendigt).

Prøver af printet materiale:

- Printet materiale, baseret på cement og sand. Pølsediameter: 40 mm. Prøven relativt kompakt, men flydestrukturer er ringe. Styrke på 50-60 Mpa.
- Fragment af cementbaseret materiale. Pølsediameter/tykkelse af lag: 20 mm/12 mm. God ensartet udlægning. Materialestrukturen er porøs og meget sugende. Trykstyrkemæssigt reel mørtelstyrke på 20-35 MPa
- Hvidlig gips/let tilslag blanding. Pølsediameter: 15/15 mm/De enkelte pølser er relativt fint bundet sammen, men mangelfuld udflydning/overgang til næste pølse. Materialet er sugende. Trykstyrke 10-15 MPa. Meget sugende.



Grøn Omstilling og 3D printmaterialer

Mål:

At fremstille blandingerne med et lavt indhold af cement og en høj andel af genanvendte materialer

- Blanding med kombinationer af knust tegl, slagge, FA og cement som binder.
- Blandinger af cement, gips og knuste glasfibre.
- Blandinger med cement og gengips D-max 5 mm. Materialet kan kun anvendes i passivt miljø.
- Blandinger med gips og gengips til passivt miljø

Afprøvede råmaterialer:

- Rockwool støv
- Knust polyuretahan
- Slagge Lindø
- Knust tegl, ren, 0-4
- Urent teglknus 0-4 mm
- Gen gips D-max 5 mm
- Gen gips D-max 14 mm
- Flyveaske
- Mikrosilika
- Knust glasfiber
- Kalkfiller
- Knust beton
- Hydratkalk
- Gips

Færdigblandinger:

- Grovbetonmix 0-4
- Weber flydemørtel
- Weber flydemørtel med fibre
- LIP
- Ukendt russisk færdigmix
- Densit



Cementbaseret:

- Blanding med kombinationer af knust tegl, slagge, FA og cement som binder.
- Forsøgene viste, at det er muligt, at fremstille blandinger, som har besidder printbare egenskaber plastiske egenskaber.
- Styrker: Varierer fra 25-60 MPa afhængigt af andel af genbrugsmateriale og vandcementforhold.
- Varierende sugende egenskaber af knust tegl og knust beton gør det vanskeligt at styre blandingerne
- Tilsætning af genbrugs fibre fra vindmøller komplicerer flydeegenskaberne
- Blandinger med tilsætning af gengips til passivt miljø: 5-25 MPa. Tilsætninger over 15 % medførte at betonen blev kraftigt retarderet
- Forsøg med almindelig færdig grov beton og modificeret grov beton

Gips og Genbrugs Gips

- Blandinger med gips og mineralske tilslag knuste glasfibre.
 - I. Blandinger er vanskelige at styre med hensyn til afbinding og suspension af tilslag. Genbrugsfibre umuliggør pumpning.
- Blandinger med gips og gengips til passivt miljø: 1-15 MPa
- Blandinger med genbrugsgips som overstiger 30 % dræbte afbinding



The BOD beton design Kravspecifikationer

- Betonen skal indeholde mest muligt genbrugsmateriale
- Man skal kunne printe i lagtykkelser af ca. 20 mm
- Materialet skal kunne overprintes efter ca. 10-15 minutter
- Afbinding skal være godt i gang i løbet af ca. 60 minutter

The BOD beton design BetonKoncept



25 kg Aalborg Basiscement
14.3 kg 0/2 sand
14.3 kg 0/4 grus
17.9 kg knust tegl
170 ml Super plast
71 g crackstop PP fibre
6,8 l vand
Trykstyrke Z/X/Y
54 MPa/52MPa/52MPa

- Iterativ proces
- Svingende egenskaber af genbrugsmaterialer



Genbrugsmaterialer til 3D printmaterialer

konklusion

- Genbrugsmaterialer kan anvendes, specielt finfraktionen
- Man skal være opmærksom på forlignelighed mellem bindersystem og kemiske egenskaber af genbrugsmaterialer
- Der kan være relativt store variationer i de tekniske egenskaber mellem forskellige læs, som påvirker slutegenskaberne af printmaterialet
- Materialekonceptet skal være robust.
- Printerdesignet skal kunne håndtere variationer printmediets egenskaber.