

# ABSORPTION I TILSLAG TIL BETON

Vand i tilslag til beton indvirker på betonens egenskaber, alt efter hvor tilgængeligt det er for betonens øvrige bestanddele. Det vand der lige præcist kan være i tilslaget åbne porer, altså porer med adgang til tilslagets overflade, er en væsentlig parameter at kende i forhold til betonens samlede vandbehov. Dette vand benævnes det **absorberede** vand, og er emnet for denne artikel.

Absorption i tilslagsmaterialerne er en vigtig parameter for bestemmelse af den mængde vand, der i praksis medvirker til at give betonen såvel bearbejdelighed som styrke; også kaldet det "frie vand".

Det er også vigtigt at gøre sig bekendt med hvilke variationer, tilslagets absorption har, da en ændring indenfor normalt deklarerede absorptionsintervaller kan betyde variationer i betonens samlede vandindhold på op til 10-15 kg/m<sup>3</sup>, hvilket er af nogen betydning for betonens bearbejdelighed og styrkeudvikling.

Afhængigt af tilslagets natur kan der være stor forskel på, hvor meget vand der absorberes. For normalt anvendte tilslagsmaterialer, som fx sømaterialer eller knuste granitter, er der lang erfaring i at bestemme absorptionen, så det giver brugbare størrelsesordner til korrektion af en betons vandindhold.

For tilslag bestående af nedknust beton, også kaldet genbrugsbeton, er der noget der tyder på, at de gængse prøvningsmetoder for bestemmelse af absorption ikke giver retvisende resultater. Typisk vil absorptionen blive vurderet for stor i forhold til den reelle absorption. I denne artikel præsenteres problemstillingen, og der vises en alternativ prøvningsmetode til bestemmelse af absorptionen.

## HVAD ER ABSORBERET VAND?

Det absorberede vand i tilslagene er relateret til tilstanden "vandmættet overfladetør" (VOT), der svarer til tilslagskornenes tilstand i den friske beton. VOT bestemmes ved først at

vandmætte det betragtede tilslag, og derefter bringe det i en tilstand, hvorved det kun er porer med adgang til omgivelserne, som er helt vandmættede, se senere.

Man kan også sige, at absorptionen svarer til den mængde vand, der lige præcist kan være i tilslaget, samtidigt med, at dette synes tørt. I figur 1 er vist en principskitse til beskrivelse af en VOT tilstand for en tilslagspartikel.

Rent beregningsmæssigt er det absorberede vand den masse af vand, der kan rummes i tilslagernes åbne porer divideret med massen af tørre korn, [1]. Absorptionen beregnes heraf som:

$$absorption = \frac{M_{VOT} - M_{tør}}{M_{tør}}$$

Det absorberede vand skal i princippet betragtes som en del af tilslaget og ikke som en del af betonens egentlige vandindhold, idet det ikke er rådighed for hydratiseringsprocesserne (reaktionerne mellem cement og vand) og ikke bidrager til betonens bearbejdelighed. Absorberet vand er dermed ikke "frit vand", og skal heraf heller ikke regnes med i betonens vand/cement-forhold.

Ud over at indeholde meget vand, vil tilslag med høj absorption ofte (men ikke altid) være:

- Lette
- Svage
- Frostfarlige
- Alkalikieselreaktive



Figur 1 – Grafisk fremstilling af våd overfladetør tilstand (VOT) for tilslagspartikel.

## HVORDAN INDGÅR DET ABSORBEREDE VAND I EN BETONBLANDING?

I en betonproduktion undersøger man på daglig basis den totale mængde vand i de anvendte tilslag; i hvert fald den del der kan fordampe, fx efter DS/EN 1097-5. Det er sjældent, at et tilslag indeholder lige præcis så meget vand, at det er i en VOT tilstand: Det kan være, at de anvendte tilslag er meget våde som følge af regn, eller meget tørre efter en varm periode.

Ved at fratrage det absorberede vand fra den totale mængde vand, kan man bestemme hvor meget frit vand, der i praksis tilføres betonen fra tilslagene. Denne "overskydende" vandmængde skal derfor fratreges den samlede mængde vand, som man har fastlagt i betonrecepten for at opnå de ønskede betonegenskaber.

Det kan også være, at tilslagene er så tørre, at det er nødvendigt at tilføre vand for at kompensere for absorptionen. I dette tilfælde skal den ekstra, og nødvendige, mængde vand tillægges den fastlagte vandmængde i betonrecepten.

I [1] er vist hvorledes man sammensætter en betonrecept og korrigerer for vand tilført fra tilslaget.



Figur 2 – Forskellige tilslagstyper – forskellige porestrukturer.

## HVOR SIDDER DET ABSORBEREDE VAND?

I figur 2 er vist billeder af hhv. søsten, knust granit og knust beton. Hertil er der vist billeder taget på nært hold under polariseret lys, hvorved man kan se hvorledes porestrukturen i disse materialer fremstår.

Som det fremgår, er porerne i søsten og knust granit relativt små. Søsten består af mange bjergarter med forskellig absorption. Den viste søsten har i dette tilfælde færre porer end den knuste granit. En del af porerne i knust granit skyldes formodentlig knusningsprocessen. I begge tilfælde går porerne dybt ind i stenene i varierende grad. Der vil være plads til, at en vis mængde vand kan suges ind og absorberet i de porer, som har adgang til tilslagsmaterialets overflade.

I knust beton er der til sammenligning en mere porøs struktur, hvor vand tilsyneladende kan absorberes i en større mængde. Dog er det svært at konstatere flere sammenhængende dybe porer, hvor vand kan absorberes i en større mængde end for normale tilslag.

## MÅLEMETODER

Måling af absorption skal ske iht. DS/EN 1097-6, og er lidt forskellig fra sand til sten:

- **Sand:** Ved undersøgelse af en sand fjerner man den fine fraktion under 0,063 mm ved afvaskning, hvorefter materialet vandmættes og derefter tørres indtil en kegle af sandet danner en tilstræbt form, uden at falde sammen
- **Sten:** Som ved sand vasker man stenene for fine partikler, og vandmætter disse, før man efterfølgende tørrer stenene i et klæde til en tilstand hvor overfladen er tør, men porerne fyldte med vand.

Herefter tørrer man materialerne ved 110°C i en ovn for at bestemme mængden af det vand, som er absorberet i porerne.

I tabel 1 er vist typiske absorptionsværdier for tilslag anvendt til forskellige miljøpåvirkninger:

	P	M	A	E
<b>Sand</b> 0-4 mm	0,6 %	-	0,3 %	0,3 %
<b>Sten</b> 4-8 mm	3 %	2 %	1 %	0,2 %
<b>Sten</b> 8-16 mm	3 %	2 %	1 %	0,2 %

Tabel 1 – Typiske absorptionsværdier for tilslag

## VARIATIONER I ABSORPTION

Absorptionsværdier for tilslagsmaterialer fremgår af leverandørens deklARATIONER, og er typisk ikke noget man selv måler. Se eksempel på deklARATION i figur 3; som det fremgår heraf, kan absorptionsværdien variere end del, og i det viste tilfælde antage værdier for stenfraktionen mellem 1,8% og 2,8%.

Samlet set kan der være tale om en del vand, op til 10-15 kg vand på en m<sup>3</sup> beton, hvilket i teorien, hvis der varieres fra det ene yderpunkt til det andet, giver en mærkbar ændring i såvel bearbejdighed som på betonstyrken.

Det anbefales, at man er ekstra opmærksom hvis variationsbåndet for absorption på tilslagsmaterialerne overstiger ±0,3%, som er et ofte deklareret variationsbånd. En sådan variation vil give anledning til en styrkevariation på ca. ±2 MPa, hvis ikke der korrigeres for vandmætningen under blande processen.

	Typisk	Min.	Max.
% VA	2,54 Mg/m <sup>3</sup> 2,3%	2,51 Mg/m <sup>3</sup> 1,8%	2,59 Mg/m <sup>3</sup> 2,8%

Figur 3 – Eksempel på angivelse af absorption i en deklARATION for en 8/16 kl. P sten.

## ABSORPTION I KNUST BETON

Absorption i knust beton er ofte målt til værdier, der ligger langt højere end for "normale" tilslag; helt op til 10 gange højere! I tabel 2 er vist målte værdier for absorption i knust betontilslag fra forskellige oprindelser [2].

	Huldæksbeton	Fabriksbeton	Belægningssten
0-4 mm	11 %	8 %	6 %
8-16 mm	6 %	4 %	3 %

Tabel 2 – Absorption i knust betontilslag.

Idet knust beton består af tilslag omgivet af en pasta, må man derfor formode, at hærdnet cementpasta har en endog meget høj absorption, idet absorptionen i tilslaget ikke ændrer sig under betonens hærdning.

Dette stemmer dog ikke helt overens med det teoretiske "potentiale" cementpastaen har for at absorbere vand. Det fordampelige vand i cementpastaen kan i teorien bestemmes som værende den mængde vand, der er tilsat betonblandingen fratrukket det kemisk bundne vand, se [3]. Absorptionspotentialet antages derfor at kunne bestemmes som det vand, der kan frigives i forhold til betonens "tørre" densitet.

Eksempel på beregning af absorptionspotentialet for en beton:

- Cement: 300 kg/m<sup>3</sup>
- Vand: 150 kg/m<sup>3</sup>
- Densitet: 2400 kg/m<sup>3</sup>
- Vurderet maksimal hydratiseringsgrad: 90%

Heraf kan absorptionspotentialet bestemmes til:

- Kemisk bundet vand:  $0,20 \cdot 300 = 60 \text{ kg/m}^3$
- Maksimal fordampelig vandmængde:  $150 - 0,90 \cdot 60 = 96 \text{ kg/m}^3$
- Betonens "tørre" densitet:  $2400 - 60 = 2340 \text{ kg/m}^3$
- Absorptionspotentiale:  $96/2340 = 4,10\%$

Det vurderes, at der skal fratrækkes noget af absorptionspotentialet, idet kapillarporøsiteten er diskontinueret i en eller anden størrelsesorden. Dvs., at alt gelvandet formodentligt ikke frigives ved opvarmning til 110 °C i 24 timer; det antages, at der er op til 1/3 af gelvandet, som er tilbage ved lave v/c-forhold.

For den ovenfor viste beton er adsorptionspotentialet bestemt til forskellige v/c-forhold, som vist nedenfor i tabel 3:

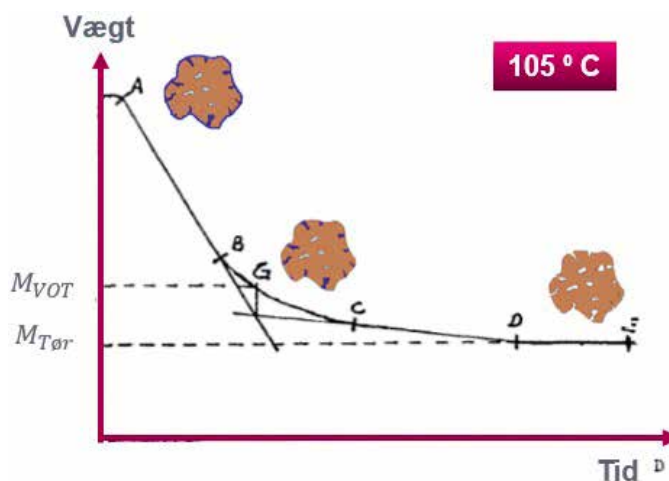
Beton med v/c	0,4	0,5	0,6	0,7
Absorptionspotentiale	3,6 %	4,2 %	4,7 %	4,9 %
Vurdering af reel absorption	2,4 %	3,6 %	4,1 %	4,4 %

Tabel 3 – Absorptionspotentiale ved forskellige v/c-forhold.

## MÅLING AF ABSORPTION I KNUST BETON

Det vurderes, at den store forskel på absorption mellem knust betontilslag og rene tilslagsmaterialer blandt andet ligger i målemetoden DS/EN 1097-6, som ikke er specielt anvendelig til bestemmelse af absorption i knuste betontilslag. Knust beton er af "natur" lidt anderledes end de naturlige tilslagsmaterialer, hvilket indvirker på prøvningsresultaterne:

- **Sand:** Partiklernes kantethed og overfladekarakter låser i forbindelse med vurdering af opnået "sætmål" (kegleform). Dette fører sandsynligvis til bestemmelse af for høje vurderede absorptionsværdier
- **Sten:** Den mørtelrest der sidder tilbage på stenene er ru og porøs, og kan næppe aftørres med et håndklæde, hvilket sandsynligvis også fører til for højt vurderede absorptionsværdier.



Figur 4 – Desorptionsisoterm til bestemmelse af  $M_{VOT}$  og  $M_{Tør}$  og dermed absorption i tilslagsmaterialer.

I [4] blev der i 1986 foreslået en alternativ målemetode til bestemmelse af absorption i knuste betontilslag, (hvor der måles og tolkes på en desorptionsisoterm for materialet). I denne vejes en prøve af knust beton kontinuerligt under opvarmning ved 105 °C, og udtørningskurven anvendes til at fastlægge hhv. VOT og tilslagets tørre tilstand, se figur 4. Af figuren fremgår, at:

- Materialemassen i VOT tilstand,  $M_{VOT}$ : Bestemmes til en værdi på udtøringskurven, der ligger umiddelbart efter det tidspunkt, hvor udtørringen går fra at være styret af fordampning, til at være styret af diffusion gennem materialet
- Tilslagets masse i tør tilstand,  $M_{tor}$ : Når der ikke fordampes mere vand fra prøven.

I [4] er der målt på en række tilslagsmaterialer, og generelt bestemmer den alternative metode samme absorption i almindelige tilslag, som hvis prøvningen foregik efter DS/EN 1097-6. For knuste betontilslag blev der bestemt væsentligt lavere værdier for absorptionen med den alternative målemetode end efter DS/EN 1097-6. I nedenstående tabel 4 er vist resultater fra måling på forskellige fraktioner af nedknust beton ved anvendelse af hhv. DS/EN 1097-6 og den alternative målemetode:

Fraktion	DS/EN 1097-6	Desorptionsmetode
0 - 4 mm	9 %	4 %
4 - 8 mm	8 %	2 %
8 - 25 mm	4 %	1 %

Tabel 4 – Bestemmelse af absorption i betonprøver efter to forskellige målemetoder, [4].

## OPSAMLING

Absorption i tilslag til beton er behæftet med en vis variation, og man bør derfor være ekstra opmærksom, hvis variationsbåndet, som angivet på deklARATIONEN af tilslagsleverandøren, overstiger  $\pm 0,3$  %-point.

For anvendelse af knust betontilslag vil man typisk måle meget høje absorptionsværdier, hvilket i praksis kan vise sig at være forkert, og et resultat af målemetoden. Det foreslås derfor, at man overvejer en ny målemetode, baseret på kontinuerlig vejning under høj temperatur for at fastlægge en realistisk absorptionsværdi. Alternativt kan det overvejes, om der skal ganges en faktor på de målte værdier for knust betontilslag jf. DS/EN 1097-6 for at opnå mere realistiske absorptionsværdier.

## REFERENCER

- [1] *Beton-Bogen*, 2. udgave, Aalborg Portland A/S, 1985 (se <https://www.aalborgportland.dk/vidensbase/beton-bogen/>).
- [2] *Nulspildsprojektet*, Dansk Beton, 2018 (se <https://www.danskbeton.dk/media/38413/nulspildsprojekt-haandbog.pdf>)
- [3] *Hærdeteknologi 1*, P. Freiesleben Hansen, 1978.
- [4] *Bestemmelse af nedknust betons densitet, vandabsorption og mørtelindhold*, Miljøstyrelsen, 1986 (se <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/1986/87-7944-781-3/pdf/87-7944-781-3.pdf>)