



Tildækning af beton - mekanismer og krav

Jacob Thrysøe
Teknisk konsulent, M.Sc.

Portland Open 2021

Udtørningsbeskyttelse af beton

Agenda:

- Skader på beton som følge af u hensigtsmæssig udtørring
- Udtørningsmekanismer
- Krav ift. udtørningsbeskyttelse af beton
- Værktøj til vurdering og dokumentation af tildækning
- Opsamling.

Hvorfor beskytte beton mod udtørring?

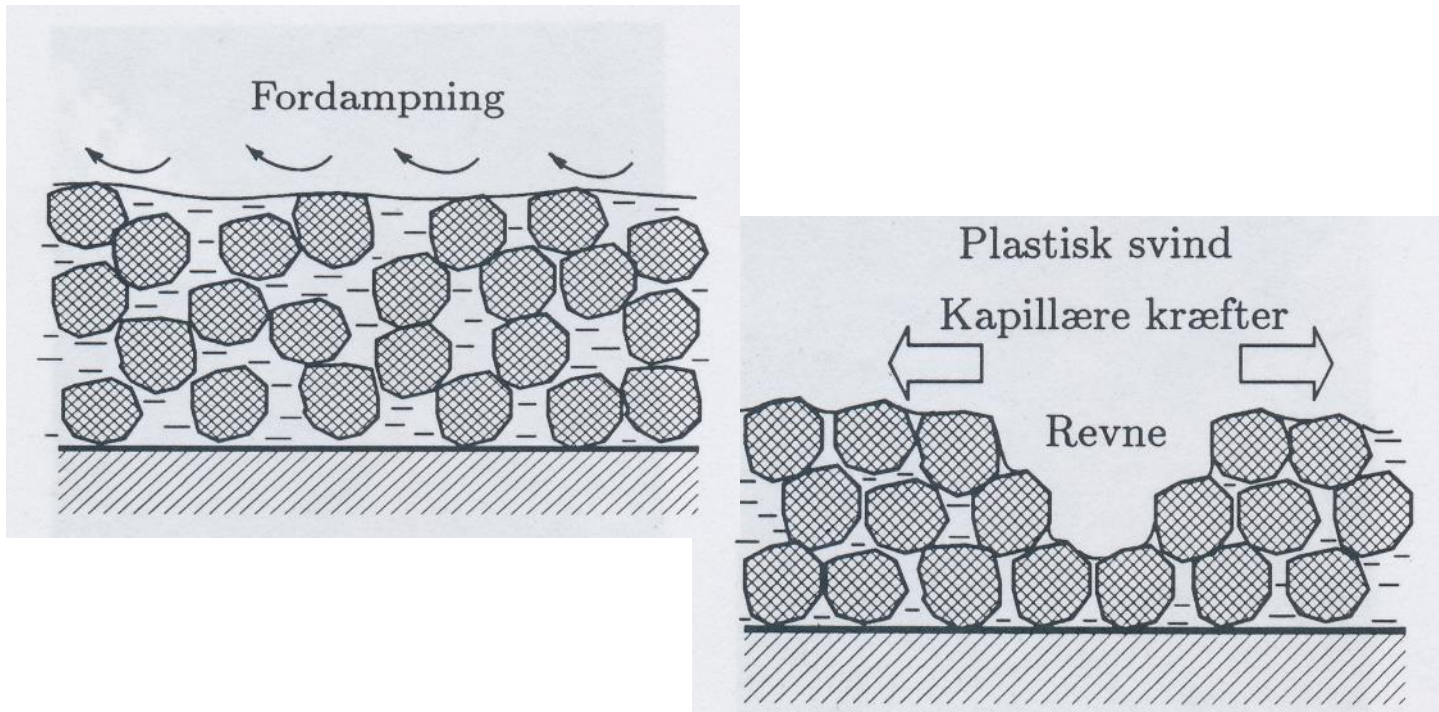
- Revnedannelse - plastiske svindrevner
- Smuldrende betonoverflader og delaminering
- Forringet betonkvalitet i overfladen.



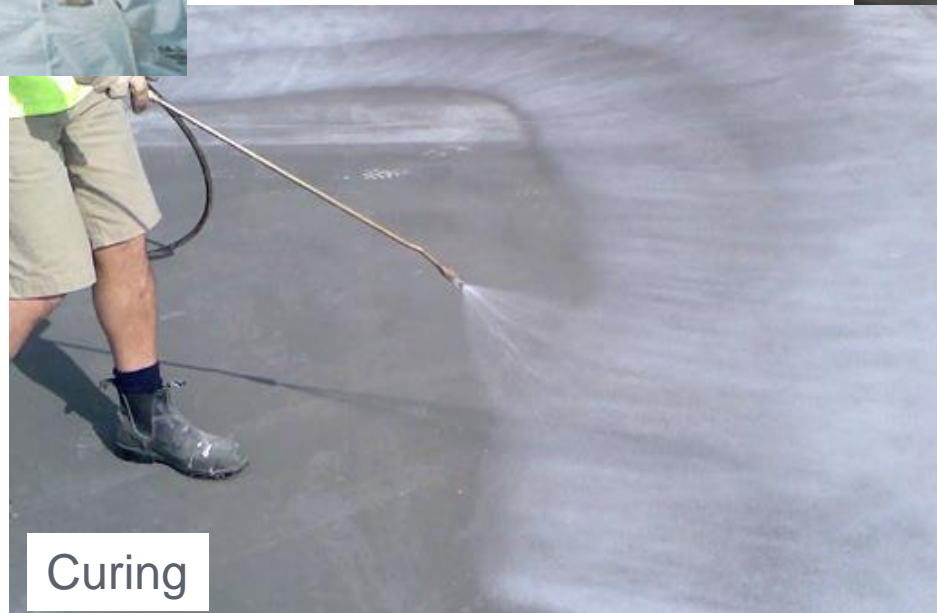
Hvorfor beskytte beton mod udtørring?

Plastisk svind

- Ved udtørring af et vandmættet partikelsystem opstår der et kapillært undertryk i porevæsken pga. meniskdannelse, og partiklerne påvirkes derved af kapillærkræfter, der kan fremkalde svind og dyb revnedannelse i betonkonstruktionen.



Hvordan beskyttes beton mod udtørring?



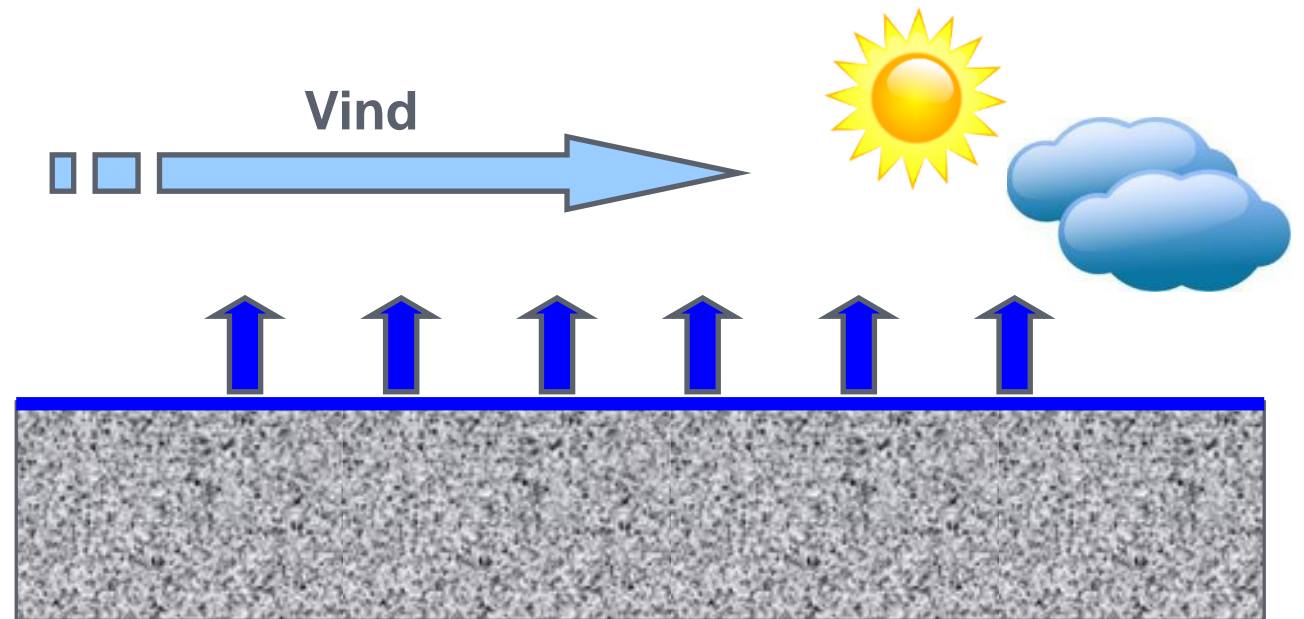
Udtørringsmekanismer

- *Hvor meget vand fordamper fra betonen?*
- *Hvordan forløber vandtabet over tid?*
- *Hvordan indvirker tildækningstiden på det samlede vandtab?*

Udtørringsmekanismer

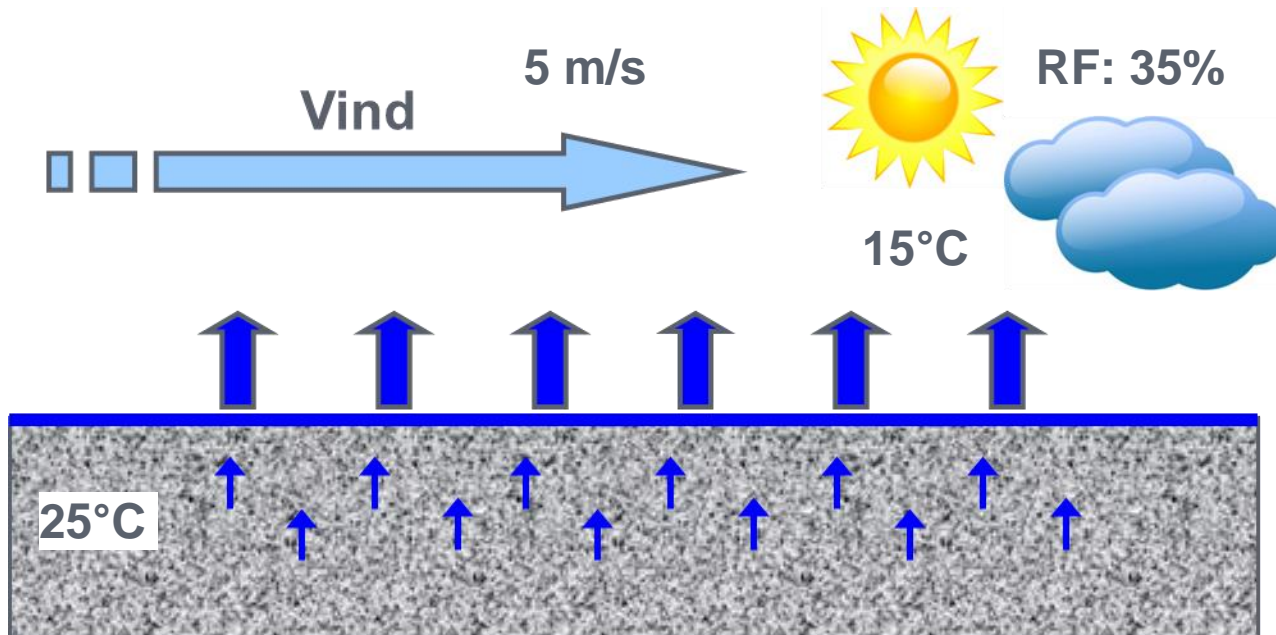
Fordampning fra en våd betonoverflade

- Nyudstøbt beton er vandmættet
- Der sker en fordampning, hvis ikke betonen er tildækket
- Fordampningen fra en fri vandmættet betonoverflade afhænger af:
 - Luften og betonens temperaturer
 - Luftens Relative Fugtighed
 - Vindhastigheden over den fri betonoverflade
- Fordampningshastigheden kan beregnes:
$$W = (0,000113 + 0,000083 \cdot v) \cdot \Delta P, \text{ kg/m}^2/\text{h}$$



Udtørringsmekanismer

Eksempel på beregning af fordampning fra en våd betonoverflade:



Fordampningshastighed:
1,4 kg/m²/t

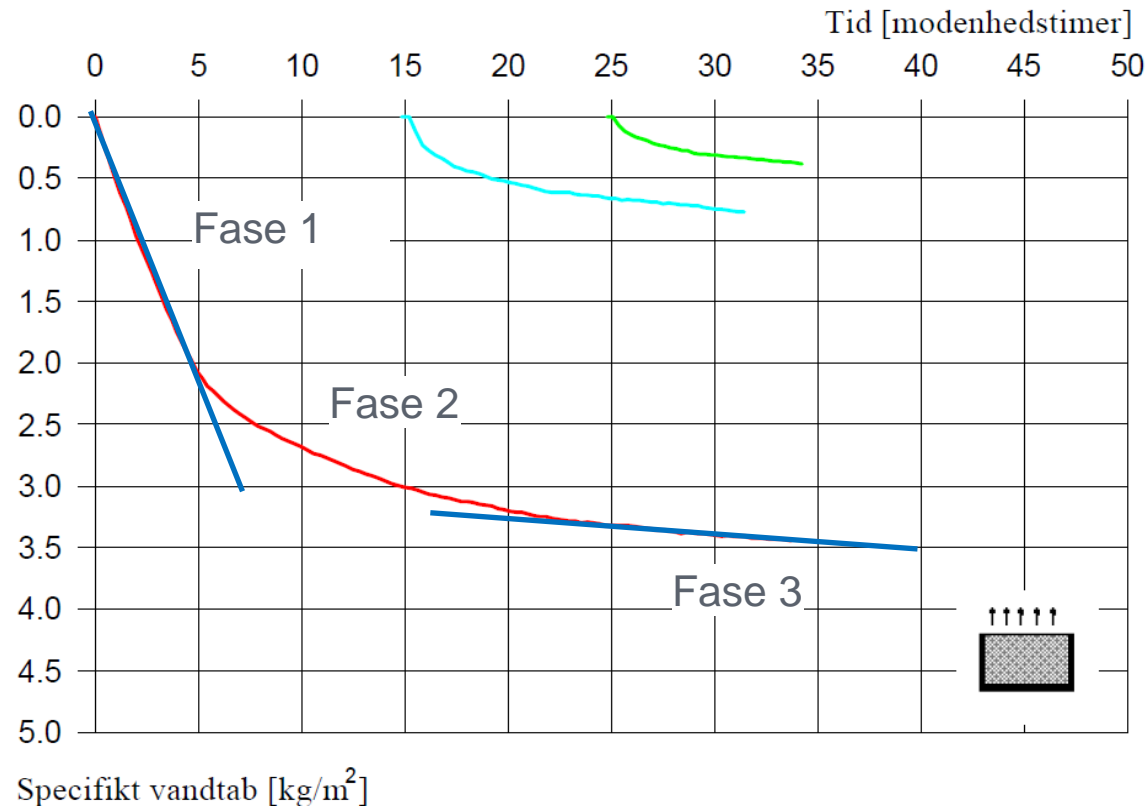
Efter 4 timer:
5,6 kg/m²

Udtørringsmekanismer

Udtørringsforsøg i vindtunnel

$$v/c = 0,42$$

RF: 47%, Temp: 20 °C, $v = 4$ m/s



Fase 1: Fordampning er afhængig af temperaturer, RF og vindhastighed.

Fase 2: Overgangsfase.

Fase 3: Fordampning styret af modstand mod fugttransport gennem betontværsnittet.

Normer og standarder

- *Gældende regler for udtørningsbeskyttelse af beton i Danmark*

Regler for udtørningsbeskyttelse

- Regler, råd og vejledninger for udtørningsbeskyttelse af nyudstøbt beton har eksisteret længe.
- **Basis Beton Beskrivelsen (1986)**: Opstiller formelle krav til **hvornår** og **hvor længe** en beton skal være udtørningsbeskyttet.
- **DS 482 (1999)**: Omtrent samme krav som i BBB.
- **DS 2427 (2011)**: Udførelse af betonkonstruktioner - implementerer "EN 13670" i Danmark.



Regler for udtørningsbeskyttelse

DS 2427 – regler for anvendelse af EN 13670 i Danmark

- Hvornår skal betonen udtørningsbeskyttes?

Flyveaske og microsilica i % af pulver	Maksimalt fordampet vandmængde	Vejledende tid for etablering af udtørningsbeskyttelse
>15%	1,5 kg/m ²	1 timer
5 - 15%	3,0 kg/m ²	2 timer
0 - 5%	6,0 kg/m ²	4 timer

- Hvor længe skal betonen udtørningsbeskyttes?

	Passiv	Moderat	Aggressiv og Ekstra aggressiv
% af angivne karakteristiske 28 døgns trykstyrke (MPa)	(12 timer)	35%	70%
Alternativ: Mindste varighed (modenhedstimer)	12 timer	36 timer	120 timer

Regler for udtørningsbeskyttelse

Betonelementer - DS/EN 13369

- **Udgaver:**
 - 2004/2007 (på dansk i 2007)
 - 2013/2018 (større ændring mht. udtørring ift. tidligere).
- **Beton skal udtørningsbeskyttes under hærdningen**
- **Krav til varighed af udtørningsbeskyttelsen:**
 - Hærdningsgrad som % af 28 døgns trykstyrke, eller:
 - Opnået trykstyrke.



Regler for udtørningsbeskyttelse

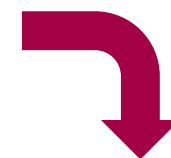
DS/EN 13369:2004/2007

Eksponeringsklasse	Miljø-påvirkning	Hærdningsgrad i % af 28 døgns trykstyrke	Cylinder/terningstyrke, MPa
X0, XC1	P	-	12/15
XC2, XC3, XD2, XF1	-	40	16/20
XC4, XD1, XD3, XF2, XF3, XF4, XS1, XS2, XS3, XA1, XA2, XA3	M, A, E	60	25/30

Regler for udtørningsbeskyttelse

DS/EN 13369:2004/2007

Eksponeeringsklasse	Miljø-påvirkning	Hærdningsgrad i % af 28 døgns trykstyrke	Cylinder/terningsstyrke, MPa
X0, XC1	P	-	12/15
XC2, XC3, XD2, XF1	-	40	16/20
XC4, XD1, XD3, XF2, XF3, XF4, XS1, XS2, XS3, XA1, XA2, XA3	M, A, E	60	25/30



DS/EN 13369:2013/2018

Eksponeeringsklasse	Miljø-påvirkning	Hærdningsgrad i % af 28 døgns trykstyrke	Cylinder/terningsstyrke, MPa
X0, XC1	P	-	12/15
XC2, XC3, XC4, XD1, XD2, XF1	M	35	12/15 (dog mindst 25% af fck)
XD3, XF2, XF3, XF4, XS1, XS2, XS3, XA1, XA2, XA3	A, E	50	16/20 (dog mindst 35% af fck)

Vurdering af nødvendig tildækningstid i praksis

- *IT-værktøj til overvågning og dokumentation af nødvendig tildækningstid for beton.*

Dokumentation af styrkeudvikling i beton

AP Maturity

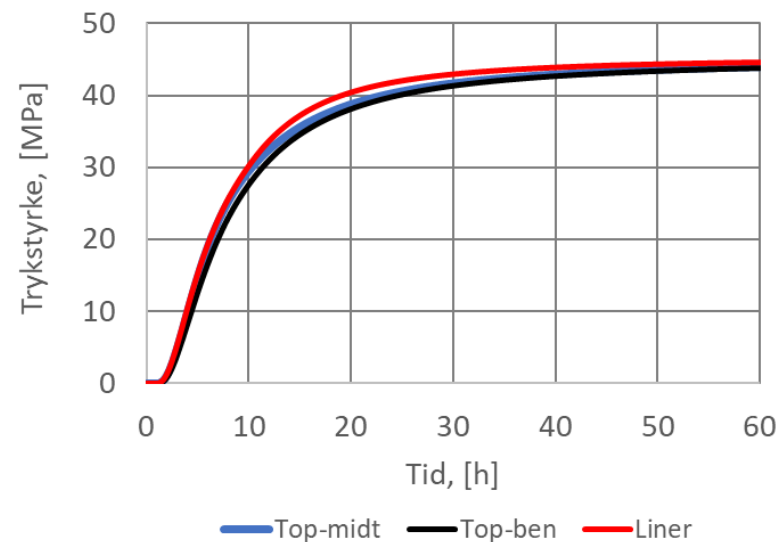
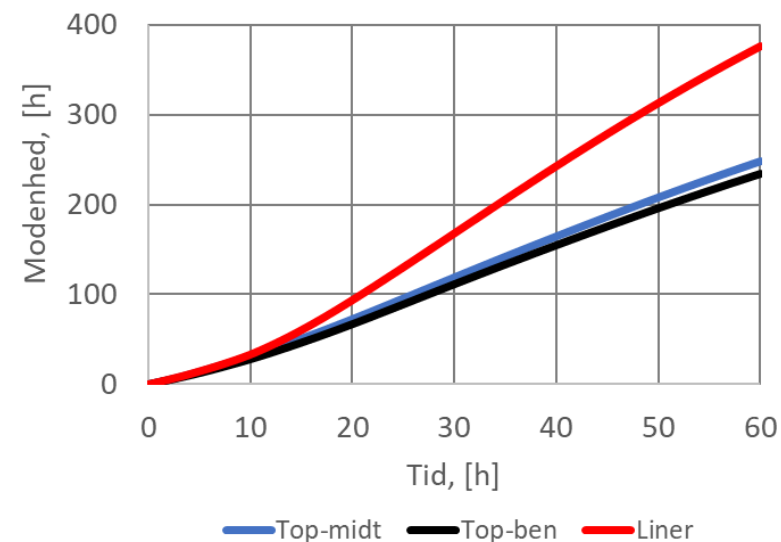
- Styrke- og modenhedsudvikling vha. temperaturmåling og kendt styrkeudvikling
- Tid for tildækning af betonkonstruktioner kan følges og dokumenteres.



Kendt styrkeudvikling
(fx 1, 7, 28 dg.)



Temperaturmåling



Opsamling

- **Beton skal beskyttes mod udtørring!**
 - Undgå plastiske svindrevner
 - Undgå dårlige hærdebetingelser
 - Undgå svag betonoverflade
- **I normer og standarder er der opstillet krav til hvorledes beton skal beskyttes mod udtørring.**
- **Måling, vurdering og dokumentation:**
 - Via simpel temperaturmåling og en kendt styrkeudvikling
 - AP Maturity fra Aalborg Portland.

Tildækning af beton - mekanismer og krav

Jacob Thrysoe

Teknisk konsulent, M.Sc.