

AP MATURITY

Aalborg Portland tilbyder nu en ny udgave af et hjælpeværktøj til optimering og dokumentation i forbindelse med produktion af betonkonstruktioner. Programmet anvendes til at estimere hhv. styrke og modenhed i en hærdnende beton alene ud fra en kendt styrkeudvikling og en temperaturmåling i den betragtede beton.

Baggrunden for programmet er ikke ny, og det begrebsmæssige apparat blev udviklet op gennem 1970'erne af bla. Per Freiesleben Hansen, og for den brede offentlighed formuleret og forbilledligt beskrevet i [1].

AP Maturity er en opdatering af et allerede eksisterende Excel-baseret program ved Aalborg Portland. Formålet har været at tilbyde et simpelt og overskueligt beregningsværktøj til betonbranchen, der forhåbentligt vil øge anvendelsen af hærdeteknologi i praksis.

Estimering af en betons styrke- og modenhedsudvikling ud fra en simpel temperaturmåling giver flere muligheder i en betonproduktion:

- Dokumentation af styrke- og hærdforhold
- Optimering af afformningstid
- Optimering af tid for fjernelse af tildækning
- Færre skader ved afformning
- Kortere tidsforbrug og øget produktivitet.

I det følgende vises baggrunden for programmet samt virkemåde.

FØRST LIDT BASAL HÆRDETEKNOLOGI

Reaktionen mellem cement og vand er, som for de fleste kemiske reaktioner, temperaturafhængig. Jo højere temperatur reaktionerne sker under, jo hurtigere sker disse, og jo hurtigere udvikles betonens egenskaber; fx styrke, varmeudvikling, etc.

Hærdehastighed

Hærdningens hastighed udtrykkes i forhold til hastigheden ved 20°C:

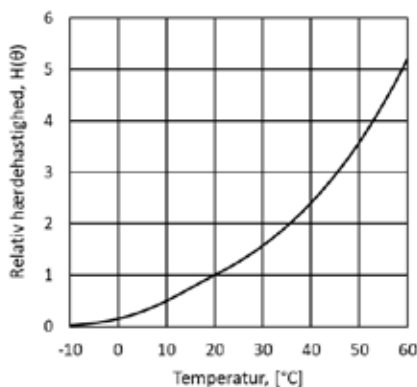
$$H(\theta) = \frac{\text{hastighed ved } \theta^{\circ}\text{C}}{\text{hastighed ved } 20^{\circ}\text{C}} \cong \exp\left[\frac{E}{R} \cdot \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{273 + \theta}\right)\right] \quad (1)$$

hvor:

- E = aktiveringsenergi

$$= \begin{cases} 33500 \frac{\text{J}}{\text{mol}} & \theta \geq 20^{\circ}\text{C} \\ 33500 + 1470 \cdot (20 - \theta) \frac{\text{J}}{\text{mol}} & \theta < 20^{\circ}\text{C} \end{cases}$$
- R = Gaskonstanten = 8,314 J/mol °C
- θ = Temperatur, °C

$H(\theta)$ kaldes temperaturfunktionen og er vist i Figur 2. Som det fremgår af figuren, kan man fx forvente, at hærdehastigheden, og dermed egenskabsudviklingen, går dobbelt så hurtigt ved 35°C i forhold til hvis den samme beton var hærdet ved 20°C; ved 10°C går det kun halvt så hurtigt som ved 20°C.



Figur 2 – Hærdningens relative hastighed ved temperaturen θ som funktion af beton-temperaturen.



Temperaturmåling



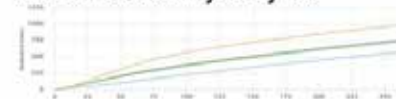
Kendt styrkeudvikling



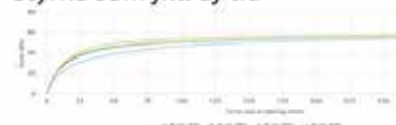
AP Maturity



Modenhed som fkt. af tid



Styrke som fkt. af tid



Figur 1 – AP Maturity bruger målt temperaturudvikling og kendt styrkeudvikling til at estimere styrkeudviklingen i den aktuelle beton.

Modenhed

Ved at summere hærdehastigheden (1) op over tid bestemmes betonens modenhed (M):

$$M = \int_0^t H(\theta) \cdot d\tau \approx \sum_{i=1}^n H(\bar{\theta}_i) \cdot \Delta t_i \quad (2)$$

Ved en given modenhed har en beton samme egenskaber, fx styrke, uanset hvilken temperatur den har hærdet under, og begrebet kan derfor anvendes til at sammenligne betoner hærdet ved forskellige temperaturer. En betons modenhed svarer til, at en tilsvarende beton har hærdet i samme tidsrum ved 20°C.

Idet betonens egenskaber udvikler sig i takt med modenheden, og at modenheden kan bestemmes via en simpel temperaturmåling, er det nærliggende at søge en sammenhæng mellem betonens egenskaber, og modenheden. Herved kan fx betonstyrken estimeres direkte i en hærdenende betonkonstruktion via en temperaturmåling, såfremt man har en kendt sammenhængen mellem styrke og modenhed for den pågældende betonrecept.

STYRKE OG MODENHED

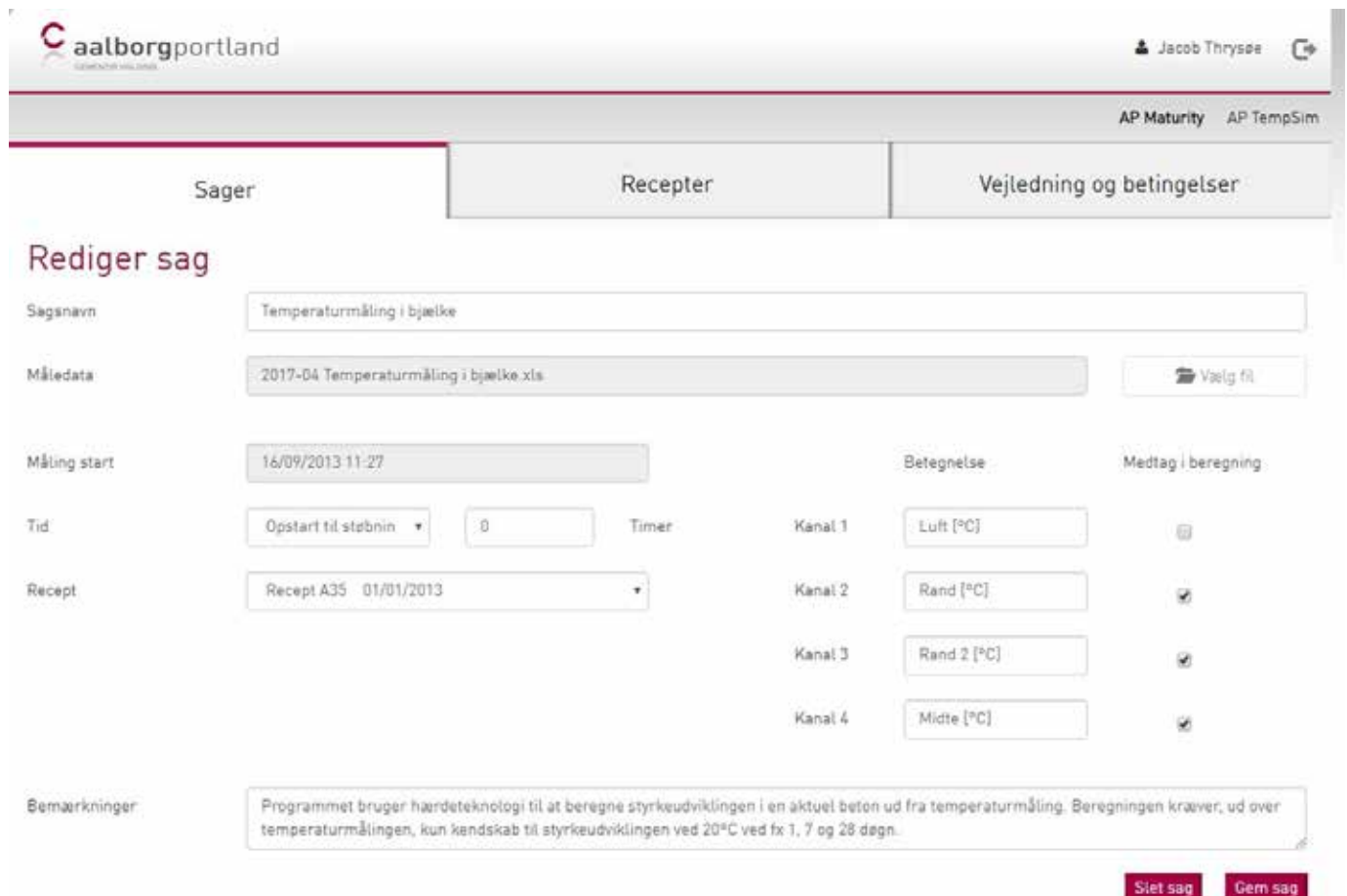
Med kendskab til en betons styrke ved 20°C til forskellige terminer, kan sammenhængen til modenheden nemt opstilles, idet modenheden i dette tilfælde er lig den aktuelle tid; hastigheden på reaktionerne er således 1,0. Typisk vises sammenhængen i en enkeltlogaritmisk afbildning, hvorved der fås en S-formet kurve, der kan beskrives på formen, se nærmere i [1]:

$$\sigma(M) = \sigma_{\infty} \cdot \exp \left[- \left(\frac{\tau_e}{M} \right)^{\alpha} \right] \quad (3)$$

hvor:

- σ_{∞} = Slutstyrken, MPa for $M \rightarrow \infty$
- $\sigma(M)$ = Styrken til en given modenhed, MPa
- M = Betonens modenhed, h
- τ_e = Tidskonstant, h
- α = Krumbningsparameter, -

Konstanterne σ_{∞} , τ_e og α bestemmes ved ikke lineær regressionsanalyse, hvorefter styrken kan bestemmes til en given modenhed via formel 3.



Figur 3 – Sagsmenu – valg af temperaturmåling samt tilhørende referencerecept.

NYT FRA AALBORG PORTLAND

ANVENDELSE AF AP MATURITY

I AP Maturity opretter man en sag, hvor målt temperaturudvikling og kendt styrkeudvikling knyttes sammen. Programmet beregner herefter modenhed og styrkeudvikling i betonen som funktion af tiden.

AP Maturity afvikles i en webbrowser (Chrome, Internet Explorer, etc.) og kræver brugernavn og password; se nærmere på www.aalborgportland.dk. Alle data hostes af Aalborg Portland. I figur 3, 4 og 5 er vist skærbilleder fra programmet.

Kendt styrkeudvikling

I programmet indtastes styrkedata for de betoner man vil undersøge i en kommende udstøbning, se figur 4.

Ved indtastning af styrken i en given beton til mindst tre terminer, beregner programmet konstanterne i formel 3 således, at styrken kan bestemmes til enhver modenhed. Typisk vil man anvende målt styrke ved 1, 7 og 28 døgn på cylindre lagret i vandkar ved 20°C, idet modenheden ved denne temperatur er lig tiden i klokketimer.

Temperaturmåling:

Temperaturhistorien måles nemmest ved anvendelse af en datalogger. Målingerne uploades til og gemmes i AP Maturity via sagsmenuen, se figur 3.

Programmet godtager umiddelbart filer fra fire forskellige temperaturloggere: Testo 174-176 samt CENTER 309. Har

man en anden datalogger, kan man let tilrette data, således disse kan godtages af programmet.

Udskrift

Udskrift fra programmet er som vist i figur 3, hvor følgende fremgår:

- Målte temperaturer
- Modenhed som funktion af tid
- Styrke som funktion af tid

Med kendskab til modenheds- og styrkeudviklingen i den aktuelle betonstøbning, har man et godt grundlag for at kunne optimere og dokumentere sin produktion.

Ved spørgsmål til programmet AP Maturity kan man henvende sig til Aalborg Portland på: sales@aalborgportland.com.

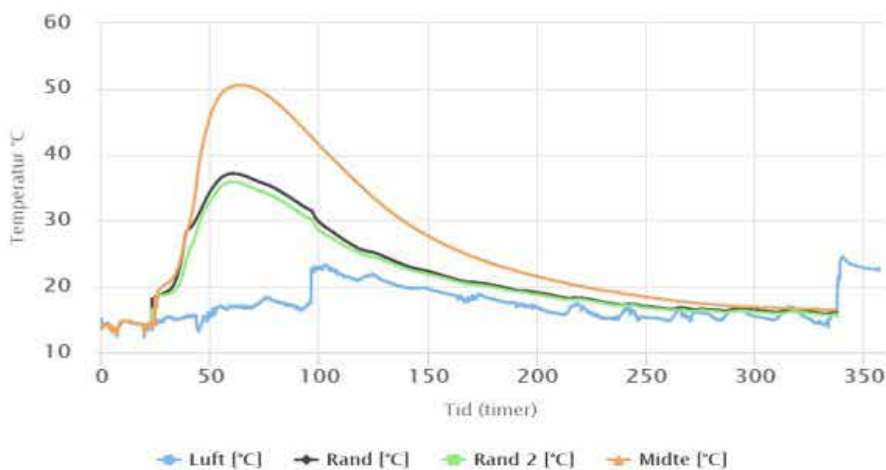
Referencer

[1] Per Freiesleben Hansen, SBI 125 - Vinterstøbning, 1982. Kan downloades via: <https://www.teknologisk.dk/vinterstobning-af-beton/239>.

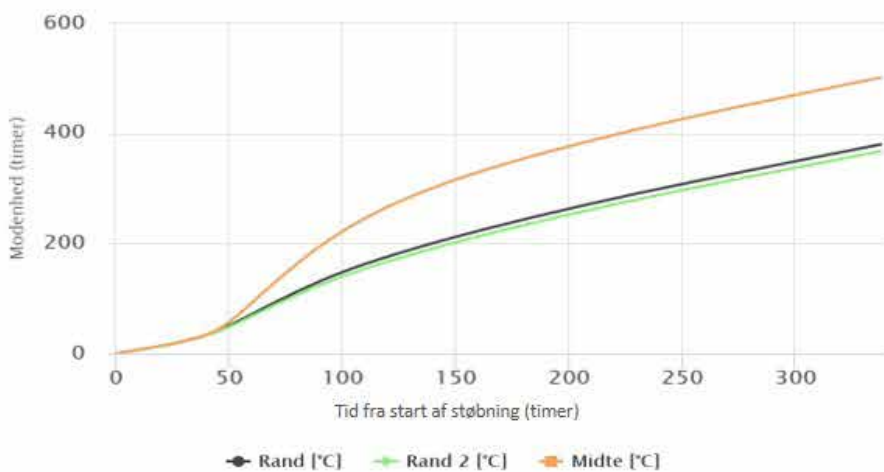
Termin (timer)	Styrke (MPa)	
24	25	Slet
48	35	Slet
168	43	Slet

Figur 4 – Receptmenu – indtastning af styrkedata.

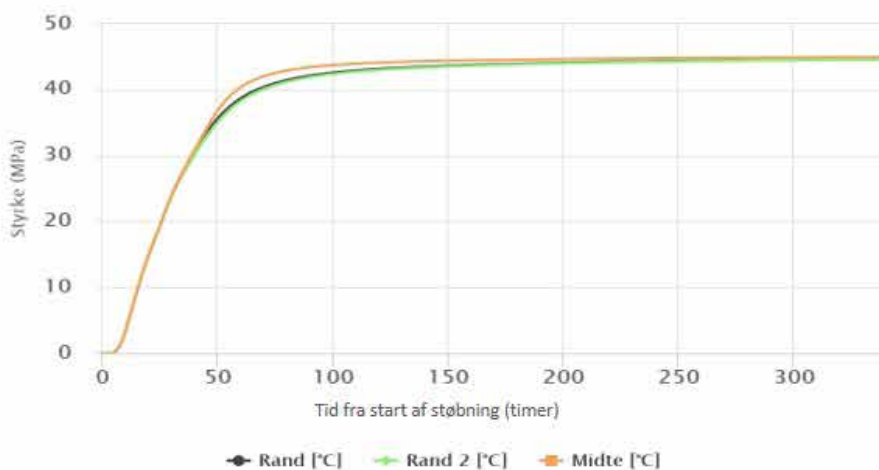
Temperaturforløb



Modenhedsudvikling



Styrkeudvikling



Figur 5 – Udskrift med målte temperaturer, samt modenhed og styrke som funktion af tid.

NY PRODUKTTEKNISK KONSULENT VED AALBORG PORTLAND

Aalborg Portlands salgsafdeling er i december 2017 blevet styrket ved tilgangen af Anya Roskjær Knudsen, der er tiltrådt stillingen som Produktteknisk konsulent. Anya er uddannet civilingeniør i Bygge- og Anlægs konstruktion, og har tidligere arbejdet ved Aalborg Portland med produkttekniske rådgivningsopgaver i det nu hedengangne CtO. Siden Anya sidst var på Aalborg Portland har hun arbejdet i rådgiverbranchen, og har således en solid viden om beton i både teori og praksis.

Vi er rigtig glade for også fremadrettet at kunne give vores kunder teknisk rådgivning på højeste niveau, og vi håber, I vil tage godt imod Anya.



Anya Roskjær Knudsen

MOBIL

+45 2429 1015

E-MAIL:

anya.knudsen@aalborgportland.com