

AP TEMPSIM

I rækken af nye versioner af eksisterende programmer tilbyder Aalborg Portland en ny udgave af "TempSim", nu "AP TempSim", der anvendes til simulering af temperaturudvikling i simple betontværsnit. Viden om temperaturudviklingen i et hærdnende betontværsnit kan i væsentlig grad mindske risikoen for termorevner samt øge kvalitet og produktivitet i forbindelse med arbejde på betonkonstruktioner.

Estimering af temperaturforløb i hærdnende betonkonstruktioner er ikke en ny disciplin, og er beskrevet anvendeligt og indgående i [1] fra 1982, hvor et stort analytisk forarbejde gjorde det muligt at beregne temperaturudvikling i simple betontværsnit vha. skemaer og opslag. Siden da er beregningsgangen lettet væsentligt ved brug af computerkraft og numeriske beregningsmetoder, og flere FEM programmer er kommercielt tilgængelige i dag for temperatursimulering af hærdnende betonkonstruktioner. AP TempSim ligger sig op ad [1] i tilgængelighed og anvendelighed, samtidigt med, at beregningsgangen er baseret på et numerisk beregningsprincip.

Simulering af temperatur- og styrkeudvikling i et hærdnende betontværsnit giver flere muligheder i en betonproduktion:

- Optimering af formmateriel og isolering
- Optimering af afformningstid
- Reduceret risiko for termorevner
- Øget kvalitet ved vinterstøbning
- Bedre planlægning af støbeopgaver.

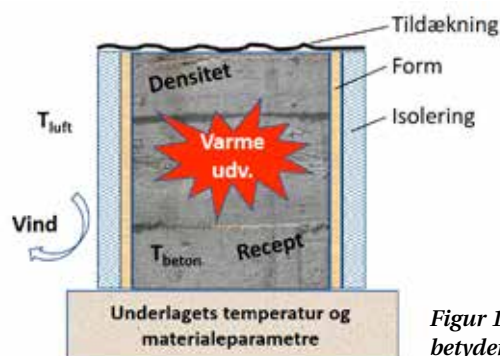
Der er lagt vægt på brugervenlighed og overskuelighed i anvendelsen af programmet, hvilket forhåbentligt vil medvirke til øget anvendelse af temperatursimuleringer af betonkonstruktioner i praksis, til gavn for produktivitet og kvalitet i den danske betonbranche.

I det følgende vises baggrunden for programmet, dets virkemåde, samt et eksempel på brugen af dette.

BAGGRUND FOR BEREKNINGER

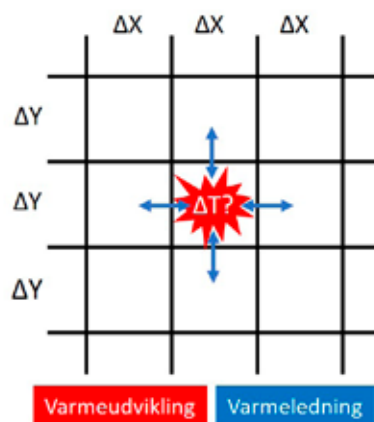
Beregning af temperaturudvikling i et hærdnende betontværsnit er i princippet en kompliceret sag, og omfatter bestemmelse af hhv. varmeudvikling og varmeledning i ethvert punkt til enhver tid:

- **Varmeudvikling:** Udvikling af varme i betonen fra reaktionen mellem cement og vand, afhængigt af cementtype og indhold, tilsætninger, vand og densitet
- **Varmeledning:** Udveksling af varme med omgivelserne afhængigt af form, isolering, vindhastighed over overfladen, omgivelsernes temperatur, etc.



Figur 1 – Skitse for betydende parametre.

I figur 1 er vist en skitse til illustration af hvilke parametre, der skal tages hensyn til ved beregning af temperaturudviklingen i en hærdnende beton.



Figur 2 – Beregningsprincip

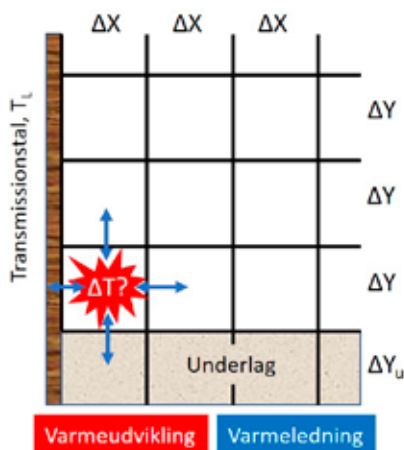
Beregningsprincipper

I AP TempSim udføres beregningerne som simple "step-forward" beregninger i små tidsstep. Tværsnittet inddeles af programmet i mindre elementer (små skiver eller rektangler), som vist i figur 2 for et rektangulært tværsnit.

For hvert tidsstep gennemregnes elementerne ét for ét mht. varmeudveksling mellem det aktuelle element og de tilgrænsende elementer (varmeledning) samt modenhed og varmeudvikling i elementet. Til starttidspunktet sættes tid, modenhed og varmeudvikling til 0, og temperaturen i alle elementer er betonens udstøbningsstemperatur.

Overflader og underlag

Der tages beregningsmæssigt hensyn til varmeledning til underlag og gennem afgrænsninger til omgivelserne, som illustreret i figur 3. I programmet er der indbygget en hjælpefunktion til bestemmelse af transmissionstallet i forskellige scenarier for formopbygning og isolering, samt mod underlag.



Figur 3 – Afgrænsning mod form og underlag.

Varmeudvikling

Idet betonens hærdning er stærkt temperaturafhængig, beregnes varmeudviklingen i et givent punkt til et givent tidspunkt

ud fra kendskab til den adiabatisk varmeudvikling for den pågældende betonsammensætning udtrykt ved modellen [1]:

$$Q(M) = Q_{\infty} \cdot \exp\left(-\left(\frac{\tau_e}{M}\right)^{\alpha}\right)$$

Hvor:

Q_{∞} = total varmeudvikling for $M \rightarrow \infty$, kJ/kg

τ_e = karakteristisk tidskonstant, h

α = krumningsparameter, -

M = betonens modenheden, h

Programmet er i stand til at estimere de relevante modelparametre, Q_{∞} , τ_e og α alene ud fra betonsammensætningen, se evt. [3].

Ligesom varmeudviklingen, bliver styrkeudviklingen i de enkelte områder beregnet til et givent tidspunkt.

ANVENDELSE AF AP TEMPSIM

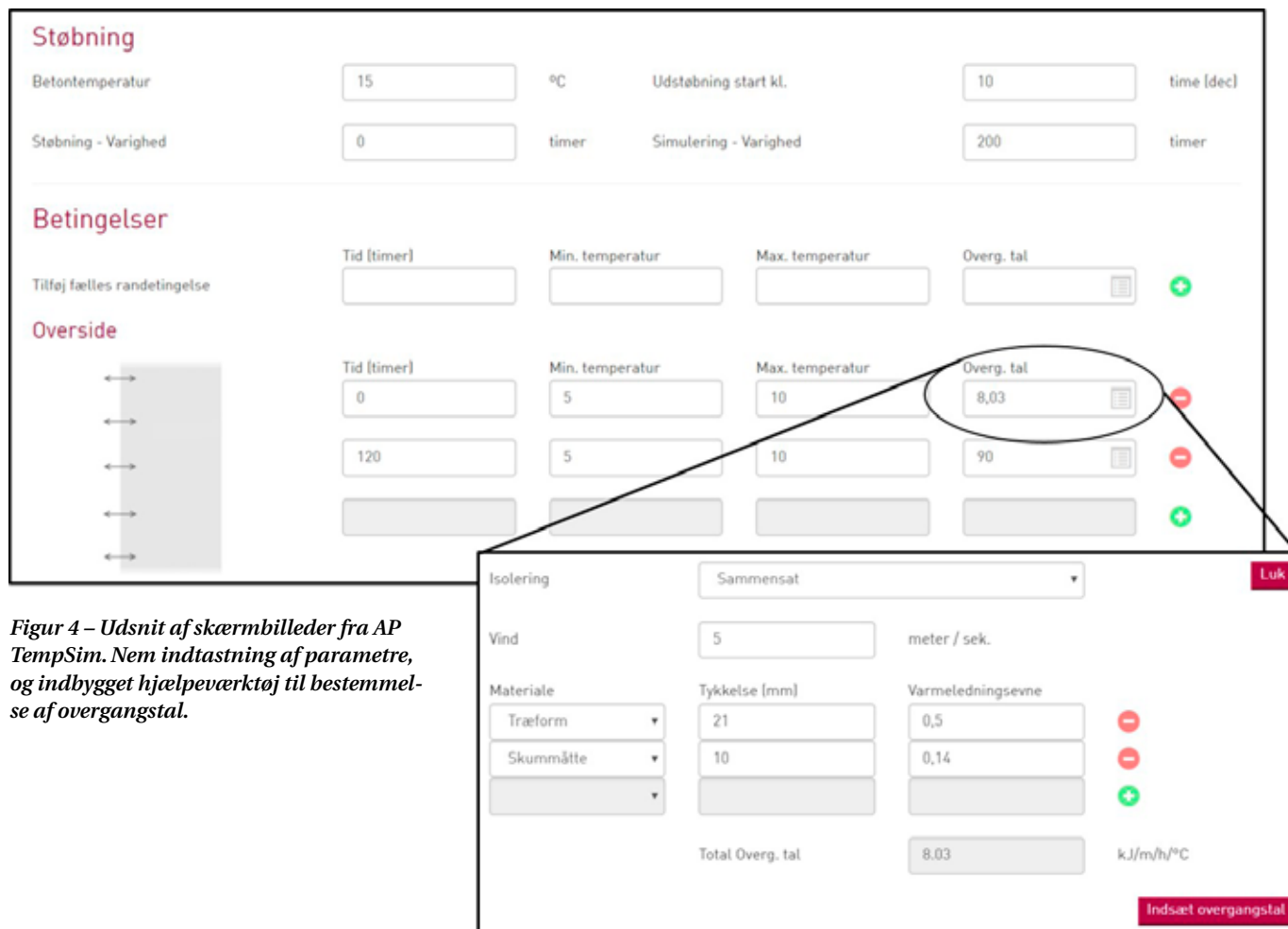
I AP TempSim opretter man en sag, der som udgangspunkt beskriver konstruktion, randbetingelser og betonsammensætning. Programmet beregner derefter temperaturudviklingen forskellige steder i det betragtede tværsnit, og angiver resultatet i en overskuelig udskrift.

AP TempSim afvikles i en webbrowser (Chrome, Firefox, Microsoft Edge, etc.) og kræver brugernavn og password; se nærmere på www.aalborgportland.dk. Det sikrer, at man altid har adgang til nyeste version af programmet. Alle data hostes af Aalborg Portland.

Herved har man et stærkt værktøj, hvor det er nemt beregningsmæssigt at ændre på de forhold, der har størst betydning for temperaturudviklingen i betontværsnittet:

- Udstøbningsstemperaturen
- Formsistem og isolering
- Afformningstidspunkt
- Betonsammensætning (herunder cementtype og indhold).

NYT FRA AALBORG PORTLAND



Figur 4 – Udsnit af skærbilleder fra AP TempSim. Nem indtastning af parametre, og indbygget hjælpeværktøj til bestemmelse af overgangstal.

Dimensioner, støbning og randbetingelser

I programmet angives konstruktionstype, dimensioner, støbeforhold og randbetingelser. Der kan vælges mellem følgende konstruktionstyper:

- Væg/plade
- Plade mod underlag
- Bjælke/søjle
- Bjælke mod underlag
- Cirkulært tværsnit

For langt de fleste konstruktioner er det muligt at betragte tværsnit, der dækkes af ovenstående muligheder.

Støbeforhold indbefatter betontemperatur, tidspunkt for opstart støbning, støbningens varighed, etc.

Afhængigt af den valgte konstruktionstype, opstilles der randbetingelser for de relevante overflader og underlag. I programmet kan man anvende en hjælpefunktion til at estimere overgangstal for konstruktionens overflader vha. et indbygget materialebibliotek. Alternativt kan man selv bestemme og indtast overgangstal, hvis man ønsker at anvende andre materialeegenskaber eller typer.

Betonrecept

Til sagen knyttes en betonrecept, ved angivelse af de parametre der har indvirkning på styrke- og varmeudviklingen: Cementtype og -indhold, flyveaske, mikrosilica, vand, rumvægt og luftindhold.

På baggrund af Bolomeys formel, se [2], samt laboratoriemålinger på forskellige cementtypers varmeudvikling [3], estimerer programmet som udgangspunkt styrke- og varmeudvikling for den beskrevne betonsammensætning. Alternativt kan man indtaste resultater fra laboratoriemålinger, for at gøre beregningerne endnu mere præcise.

Output

Resultatet af beregningerne kan skrives ud som to stk. A4 sider, og omfatter:

- Sagsbeskrivelse og receptoplysninger
- Temperaturudvikling i relevante punkter i tværsnittet
- Modenheden som funktion af tiden
- Styrken som funktion af tiden.

EKSEMPEL

Temperaturudviklingen i en vægkonstruktion beregnes vha. AP TempSim med følgende forudsætninger:

- Konstruktion: Væg/plade (regnes uendeligt i længden)
- Dimension: 0,80 meter tyk
- Betontemperatur: 15°C
- Lufttemperatur: 5/10°C (nat/dag)
- Formmateriel: 21 mm træform og 10 mm skummåtter på begge sider. Forskalling og isolering fjernes efter 120 timer
- Beton: 340 kg Rapid cement, 60 kg flyveaske, 165 kg vand, rumvægt på 2280 kg/m³.

Udvalgte skærbilleder er vist i figur 4, og temperatursimuleringen er vist i figur 5.

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

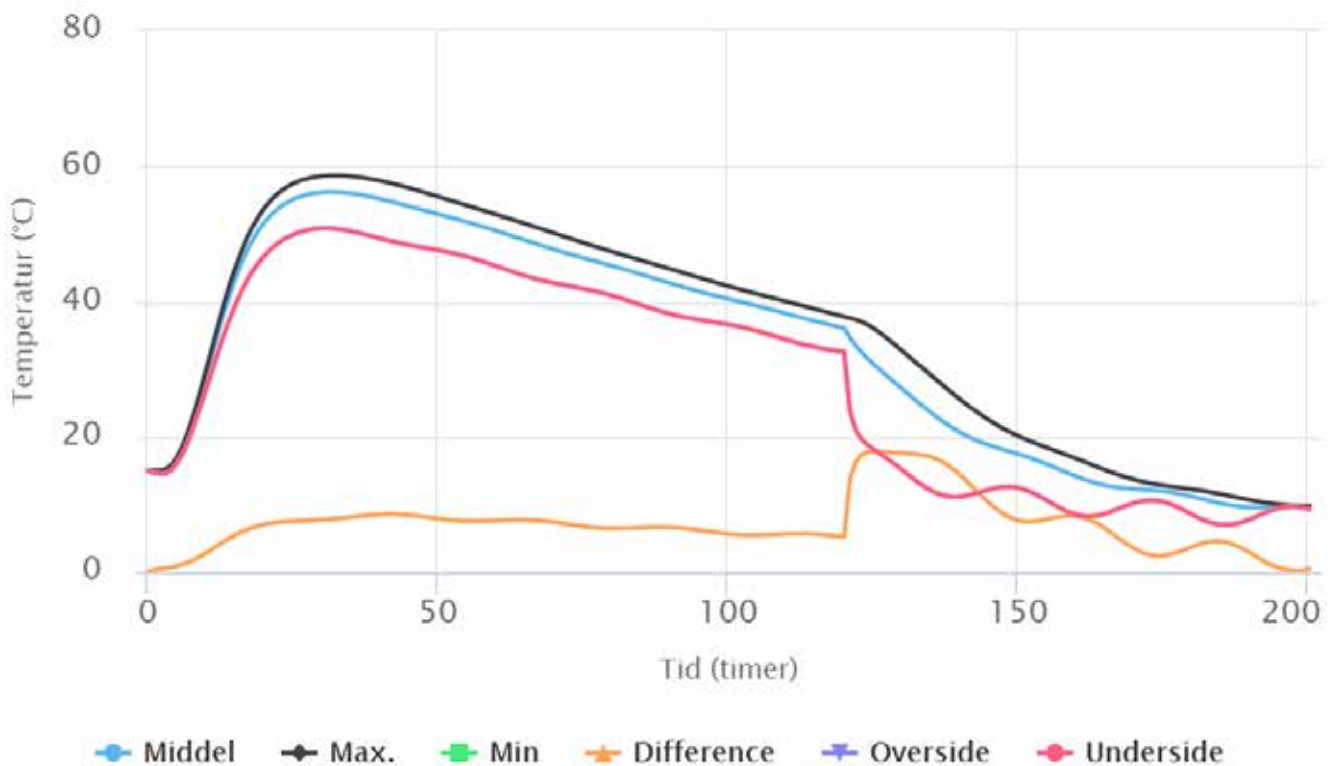
REFERENCER

[1] Per Freiesleben Hansen et. al., Vinterstøbning af beton, SBI anvisning 125, 1982, Statens Byggeforskningsinstitut. Kan downloades fra www.teknologisk.dk.

[2] Beton-Bogen, Aalborg Portland, 1985. Kan downloades fra www.aalborgportland.dk

[3] Jacob Thrysoe, Cements varmeudvikling, Beton 2016 – nr. 4, Dansk Beton. Kan downloades fra www.danskbeton.dk

Temperatur Simulering



Figur 5 – Resultat af temperatursimulering. Som det ses, så overstiger den maksimale temperaturdifference ikke 20°C, hvorfor risikoen for termorevner over tværsnittet er minimal.