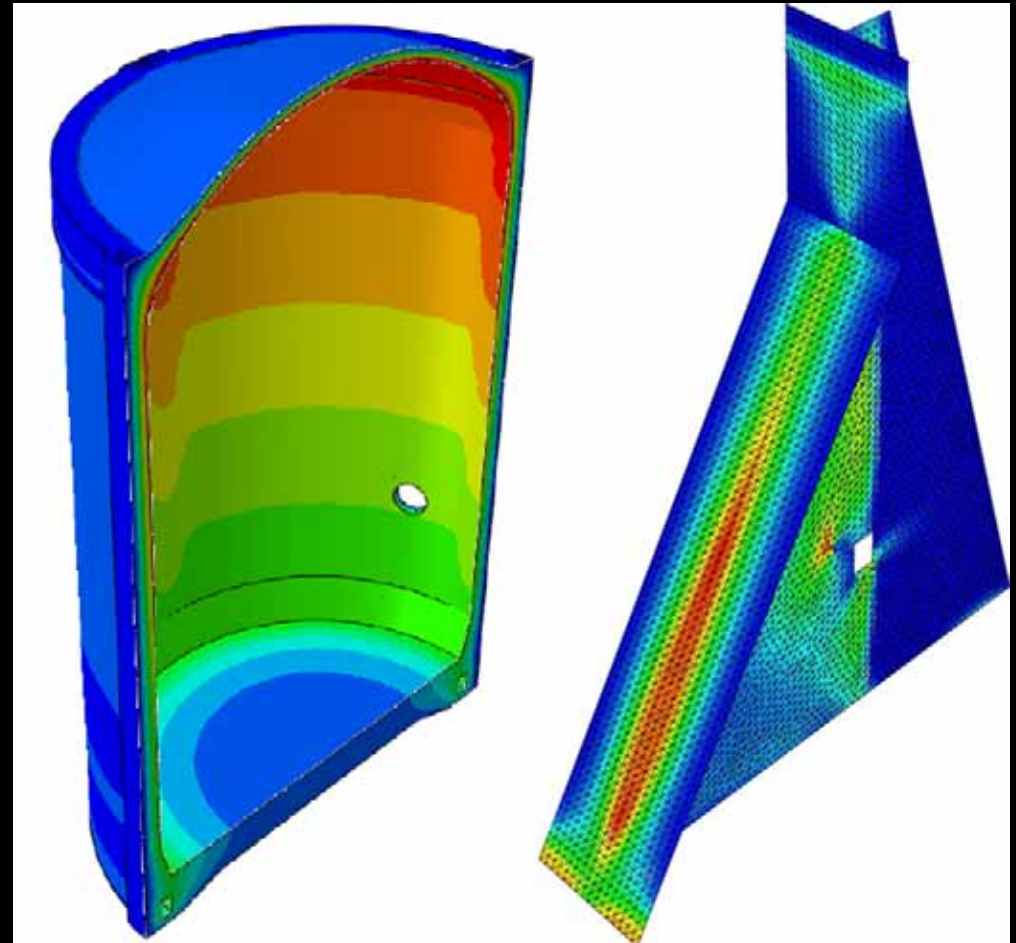
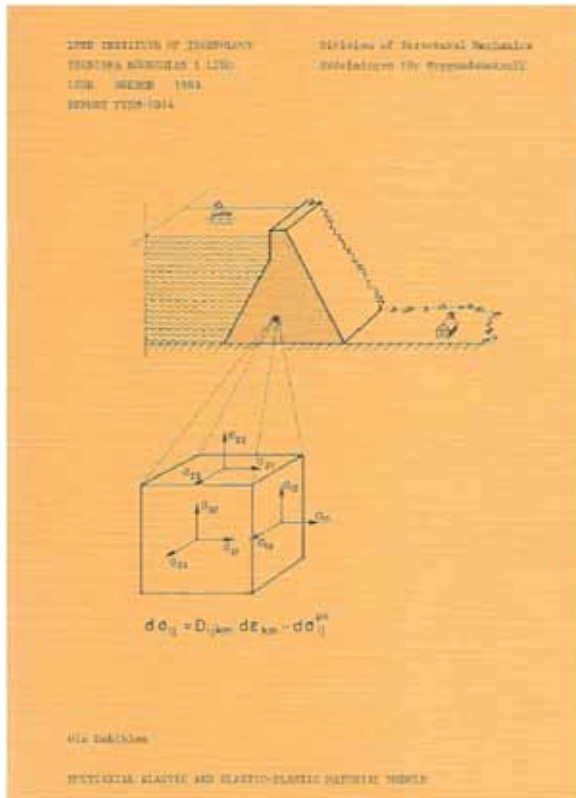


# VÄGLEDNING FÖR GRANSKNING AV AVANCERADE BERÄKNINGAR INOM VATTENKRAFTS- OCH KÄRNKRAFTSTILLÄMPNINGAR



# AVANCERADE BERÄKNINGAR HAR MAN SYSSLAT MED LÄNGE

De grundläggande ekvationerna har inte förändrats, utan utveckling av beräkningskapacitet förändrat formuleringarna.



### 3.2 Temperature dependent linear elastic model

The model is based on isotropic linear elastic theory. The material parameters are assumed to be dependent of the temperature.

#### 3.2.1 Description of theory

The theory is briefly described. Elastic theory can be further studied in [1] and [5].

The strain increment is expressed as a sum of an elastic and a thermal part.

$$d\epsilon_{ij} = d\epsilon_{ij}^e + d\epsilon_{ij}^T \quad (3.2.1)$$

where  $d\epsilon_{ij}^e$  is the elastic strain increment and  $d\epsilon_{ij}^T$  is the thermal strain increment.

The elastic strain  $\epsilon^e$  can be expressed in the stress  $\underline{\sigma}$  as

$$\epsilon_{ij}^e = c_{ijkl} \sigma_{km} \quad (3.2.2)$$

In Eq. (3.2.2) the material compliance  $\underline{c}$  is given by

$$c_{ijkl} = -\frac{\nu}{E} \delta_{ij} \delta_{km} + \frac{1+\nu}{2E} (\delta_{ik} \delta_{jm} + \delta_{im} \delta_{jk}) \quad (3.2.3)$$

where  $E$  is the elastic modulus and  $\nu$  is Poisson's ratio.

Differentiation of Eq. (3.2.2) yields

$$d\epsilon_{ij}^e = c_{ijkl} d\sigma_{km} + dc_{ijkl} \sigma_{km} \quad (3.2.4)$$

where, according to Eq. (3.2.3)

$$dc_{ijkl} = \frac{dE - E d\nu}{E^2} \delta_{ij} \delta_{km} + \frac{dE + E d\nu}{2E^2} (\delta_{ik} \delta_{jm} + \delta_{im} \delta_{jk}) \quad (3.2.5)$$

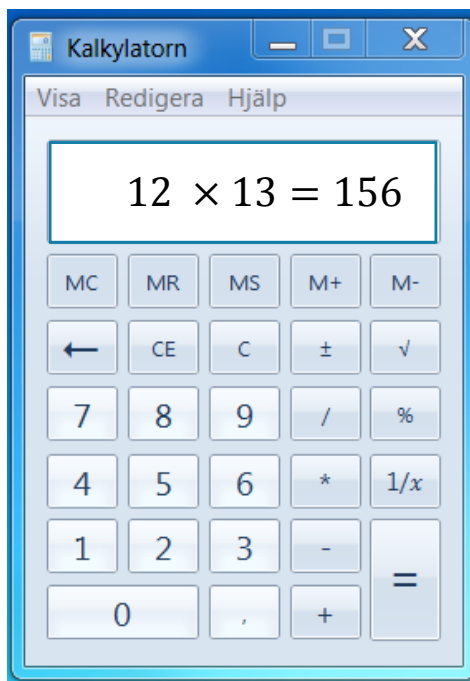
→  $\Delta\epsilon_{tot} = \Delta\epsilon_e + \Delta\epsilon_T$

→  $\epsilon_e = \frac{\sigma}{E}$

De flesta av oss stannar här

# AVANCERAD BERÄKNING VINNER TRÄNG SOM KALKYLATOR GJORDE

Ingen vågar göra sina inbetalningar utan kalkylatorn



Avancerad beräkning

$$12 \times 12 + 12 = 156$$

$$13 \times 13 - 13 = 156$$

Ikke avancerad beräkning

De flesta av oss stannar här:

$$12 \times 12,5 = 150$$

eller kanske fortsätter ändå

$$12 \times 12 + 0,5 \times 12 = 150$$

Men vi stannar säkert här

$$12,33 \times 12,85 = ?$$

# Vägledning för granskning av avancerande datorberäkning avseende mekanik och transportprocesser i betongkonstruktioner

Tomas Ekström, Per-Johan Gustafsson, Mikael Hallgren, Manouchehr Hassanzadeh, Richard Malm, Lars-Olof Nilsson, Sven Thelandersson

Syftet med denna rapport är att

- ge vägledning till den som arbetar med granskning av avancerade datorbaserade beräkningar och
- vägleda beställaren av avancerade datorbaserade beräkningar genom att belysa beröringspunkterna mellan beställning och granskning av beräkningar.

Förhoppningen är att vägledningen både skall ge stöd till granskaren och även underlätta kommunikationen med och mellan beställaren och utföraren av beräkningsarbetet. Vägledningen handlar i första hand om övergripande struktur och delar i ett granskningsarbete, och bara undantagsvis om enskilda beräkningstekniska detaljer.

# VÄGLEDNINGENS INNEHÅLL

1. Syfte
2. Typiska konstruktioner inom vattenkraft
3. Konstruktionsberäkningar
4. Olika typer av beräkningar
5. Steg i granskningsprocessen
6. Dokument
7. Granskning av Analysförutsättningar och Analysrapporten
8. Granskning (verifiering) av beräkningsverktyg
9. Verifiering av analysansvariges kompetens för aktuell typ av beräkning och beräkningsverktyg

# DAGENS PROBLEMSTÄLLNINGAR INKLUDERAR MÅNGA OLIKA FENOMEN

## 1) Mekanik för betongmaterial och betongkonstruktion.

- struktur- och materialmekanik (deformationer, spänningar, bärförmåga, sprickbildning)

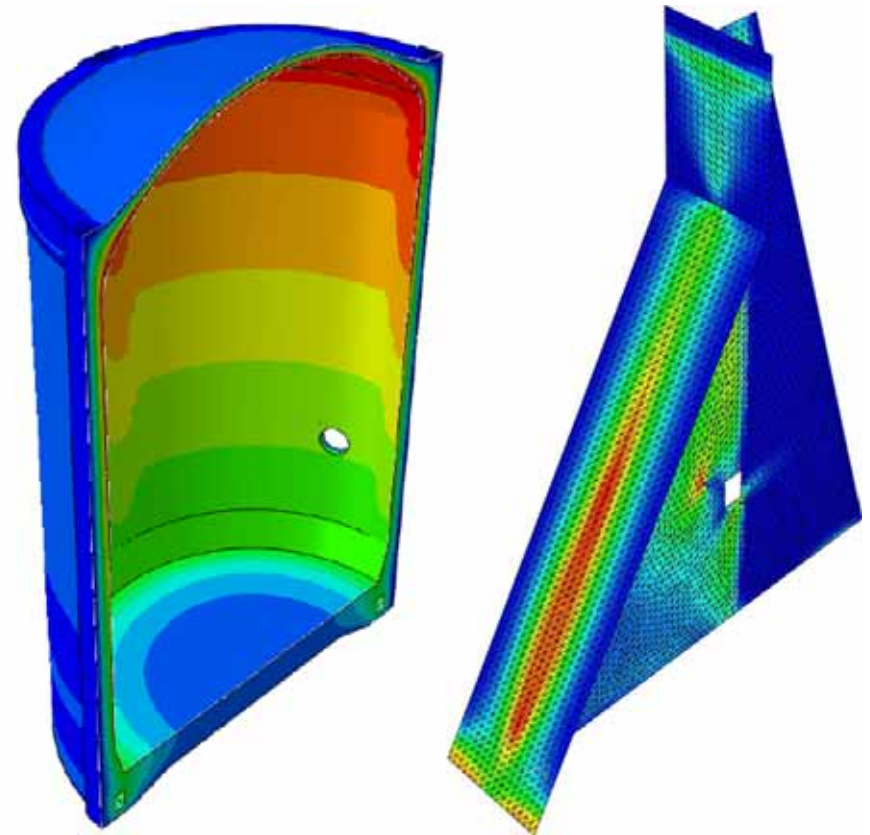
## 2) Transportprocesser i betong.

- värme (ledning, konvektion)
- masstransport i material (diffusion, konvektion, flöde)
- kopplade transportprocesser (värme-massa-fasomvandlingar)

## 3) Kopplade mekanik-transport processer.

- deformationer-spänningar-sprickor-värme-masstransport-fasomvandlingar- kemiska omvandlingar

## 4) Strömning i vätskor och gaser.



# SKEDEN OCH FENOMEN SOM FÖR ANALYS AV EN BETONGKONSTRUKTION KAN KRÄVA AVANCERADE DATORBERÄKNINGAR



## Inför byggske

- Gjutning
  - Flödesanalys för betongmassa
- Härdning
  - Värmeanalys för bestämning av temperatur och hydratationsgrad
  - Mekanik- och värmeanalys av egenspanningar och sprickbildning

## Inför och under brukarske

- Deformationer, hållfasthet och sprickbildning
  - Vid statisk hög kortvarig belastning
  - Vid statisk långvarig belastning med krympning, krypning och relaxation
  - Vibrationsanalys, t.ex. för aggregatnära konstruktioner
  - Exceptionell statisk och dynamisk belastning vid olycka, stöt, jordbävning
  - Portrycksanalys för bestämning av upptryck
  - Vid gradvisa sättningar i undergrund och vid brott i försvagningszoner i berg
  - Vid temperaturförändringar och gradienter
  - Vid anslutningar till nygjutning vid reparation och tillbyggnad
- Beständighet
  - Temperaturanalys för av bedömning av reaktionshastigheter
  - Masstransportanalys av vattenomsättningshastighet och urlakning av betong
  - Diffusionsanalys för koldioxidinträning (karbonatisering)
  - Diffusionsanalys för salter (korrosion, frostsprängning), och urlakning av betong
  - Kopplad värme- och transportanalys för vatten mht fasomvandlingar (frostsprängning)
  - Kopplad mekanik- och transportanalys mht sprickbildning och armeringskorrosion, samt spricktillväxt orsakad av urlakning av betong
  - Mekanik och transportanalys mht sprickor och tätet
  - Portrycksanalys för bestämning av upptryck
  - Kopplad mekanik, kemisk och fysikalisk nedbrytning (Inre expansion i kombination med nedsetta mekaniska egenskaper orsakade av t.ex. alkali-kisel reaktioner, frost- och sulfatangrepp)

# STEG I GRANSKNINGSPROCESSEN

- Steg 1: Beställaren formulerar beräkningsuppdraget.
- Steg 2: Tidplan upprättas enligt överenskommelse.
- Steg 3: Beräkningsingenjören upprättar Analysförutsättningar.
- Steg 4: Granskaren granskar Analysförutsättningar och lämnar synpunkter skriftligt i ett granskningsutlåtande.
- Steg 5: Beräkningsingenjören besvarar skriftligen granskningssynpunkterna.
- Steg 6: Granskningsmöte 1 mellan Beräkningsingenjören och Granskaren.
- Steg 7: Beräkningsingenjören reviderar Analysförutsättningar som sänds till Granskaren.
- Steg 8: Granskaren granskar justeringarna i Analysförutsättningarna och skickar en skriftlig bekräftelse avseende godkännande av dokumentet.
- Steg 9: Beräkningsingenjören genomför beräkningen och upprättar samt redovisar en Analysrapport.
- Steg 10: Granskaren granskar Analysrapporten och lämnar synpunkter.
- Steg 11: Beräkningsingenjören besvarar skriftligen granskningssynpunkterna.
- Steg 12: Granskningsmöte 2 mellan Beräkningsingenjören och Granskaren.
- Steg 13: Beräkningsingenjören reviderar Analysrapporten.
- Steg 14: Granskaren granskar justeringarna i Analysrapporten och skickar en skriftlig bekräftelse avseende godkännande av dokumentet.



# DOKUMENT

- Granskningsprocessen måste planeras tidigt i projektet och innan beräkningsarbetet påbörjas
- Det rekommenderas att Granskaren utses redan innan beräkningsarbetet påbörjas.
- I ett tidigt skede bör Beräkningsingenjören och Granskaren vara överens om följande två viktiga dokument som upprättas i olika skeden
  - Analysförutsättningar som skall upprättas innan själva analyserna genomförs
  - Analysrapport som skall upprättas efter att analyserna genomförts och där resultat och slutsatser redovisas
- Kapitlet behandlar innehållet i två viktiga dokument
  1. Dokumentet *Analysförutsättningar*
  2. Dokumentet *Analysrapport*

## Bilaga 6.1: Förslag till innehållsförteckning för dokumentet "Analysförutsättningar"

1. Problemställning
2. Projektets mål och syfte
3. Analysmodell och indata
  - 3.1 Översiktlig beskrivning av val av analysmodell och motiv till detta val
  - 3.2 Yttre påverkningar/laster
  - 3.3 Systemavgränsning och randvillkor
  - 3.4 Modellförenklingar och antaganden
  - 3.5 Materialmodeller och materialparametrar
  - 3.6 Modellosäkerheter
4. Standarder, normer och bestämmelser
5. Övriga informationskällor
6. Analysverktyg
7. Övriga viktiga antaganden och förutsättningar
8. Referenser



# GRANSKNING AV ANALYSFÖRUTSÄTTNINGAR OCH ANALYSRAPPORT

## Granskning av Analysförutsättningar

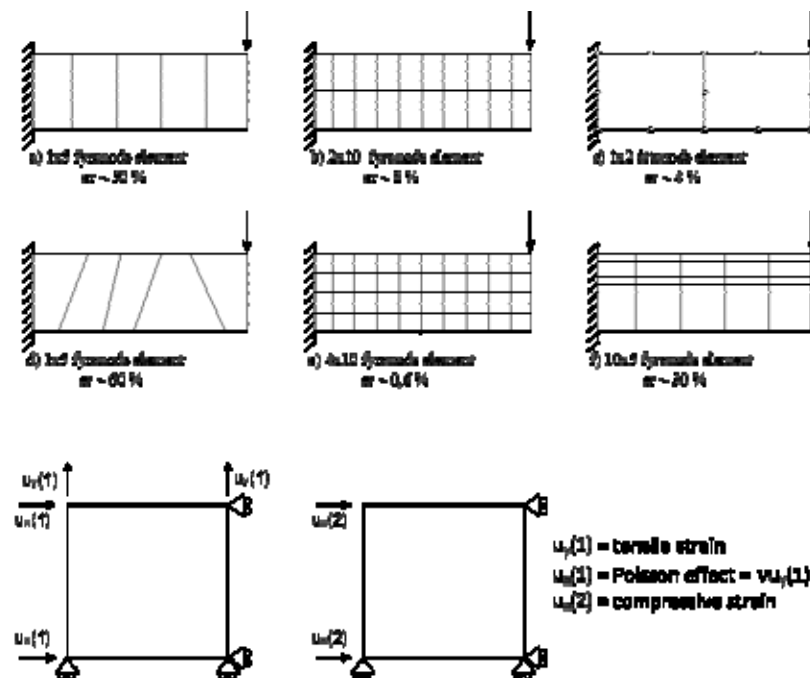
Följande punkter bör kontrolleras vad gäller analysförutsättningarna

1. Finns det en tydlig, översiktlig beskrivning av problemställningen och de frågor som skall belysas och besvaras genom projektet?
2. Är syftet och målet med analysen klart beskrivna? Framgår det att resultaten ska användas som underlag för beslut och i så fall vilket/vilka? Sägs det tydligt om resultaten syftar till att verifiera säkerhet och/eller funktion hos ett system eller en komponent?
3. Är följande punkter översiktligt belysta?
  - a. Relation mellan val av modell och syfte
  - b. Beskrivning av yttre påverkningar
  - c. Val av systemavgränsning och randvillkor
  - d. Val av förenklingar och antaganden
  - e. Val av indataparametrar för systemet och informationskällor till dessa
4. Finns det en preliminär redovisning av osäkerheter i analysmodell och indata och initiell uppskattning av hur dessa osäkerheter kan påverka slutresultatet?

# GRANSKNING (VERIFIERING) AV BERÄKNINGSVERKTYG

- Verifiering av beräkningsverktyg för mekaniska problem
  1. Konvergens
  2. Verifiering av materialmodell
  3. Verifierande beräkningar
- Verifiering av beräkningsverktyg för transportprocesser
  - a. Jämförelse med analytiska lösningar (för enklare fall),
  - b. Jämförelse med lösningar med andra, verifierade beräkningsverktyg,
  - c. Jämförelse med lösningar med samma beräkningsverktyg med succesivt minskade tidssteg eller elementindelning.

I fall a. finns en EN-standard, EN 15026 [7]



# VERIFIERING AV ANALYSANSVARIGES KOMPETENS

## Gruppledare

- Civilingenjör, eller motsvarande, (ej nödvändig om gruppen har fler än en civil ingenjör)
- Har erfarenhet av att utföra avancerade beräkningar av det slag som är fråga om (ej nödvändig om gruppen har fler minst en utförare som har utfört avancerade beräkningar av det slag som är fråga om)
- Har erfaren av att utföra beräkningar med den aktuella mjukvaran (ej nödvändig om gruppen har minst en utförare med erfarenhet av att utföra beräkningar med den aktuella mjukvaran)
- Kunskap och förståelse för tekniska principer
- Praktisk tillämpning av teknisk kunskap och expertis
- Ledarskap och management
- Kommunikation och interpersonella färdigheter

## Enskild utförare

- Civilingenjör, eller motsvarande, (ej nödvändig om gruppledaren är civil ingenjör)
- Har erfarenhet av att utföra avancerade beräkningar som är aktuella i det kommande projektet (ej nödvändig om gruppledaren eller minst en utförare inom gruppen har erfarenhet av att utföra avancerade beräkningar av det slag som är fråga om)
- Har erfaren av att utföra beräkningar med den aktuella mjukvaran (ej nödvändig om gruppen har minst en utförare med erfarenhet av att utföra beräkningar med den aktuella mjukvaran)
- Kunskap och förståelse för tekniska principer

SWECO

