Vercors - modellering av reaktorinneslutningar

Ett projekt finansierat av Energiforsk

Betongtekniskt program kärnkraft

Energiforsk

LUNDS UNIVERSITET

Projektgrupp Vercors III

Magnus Åhs, LTH, projektledare, utförare modellering

Richard Malm, KTH/SWECO nu FOI, expert/granskare

Daniel Rydle, Vattenfall AB, expert/granskare

Manouchehr Hassanzadeh, SWECO, granskare

Christian Bernstone, Vattenfall AB, representant/återkoppling till kraftindustrin

Kim Calonius, VTT, granskare

Andra har deltagit i tidigare projekt

Energiforsk

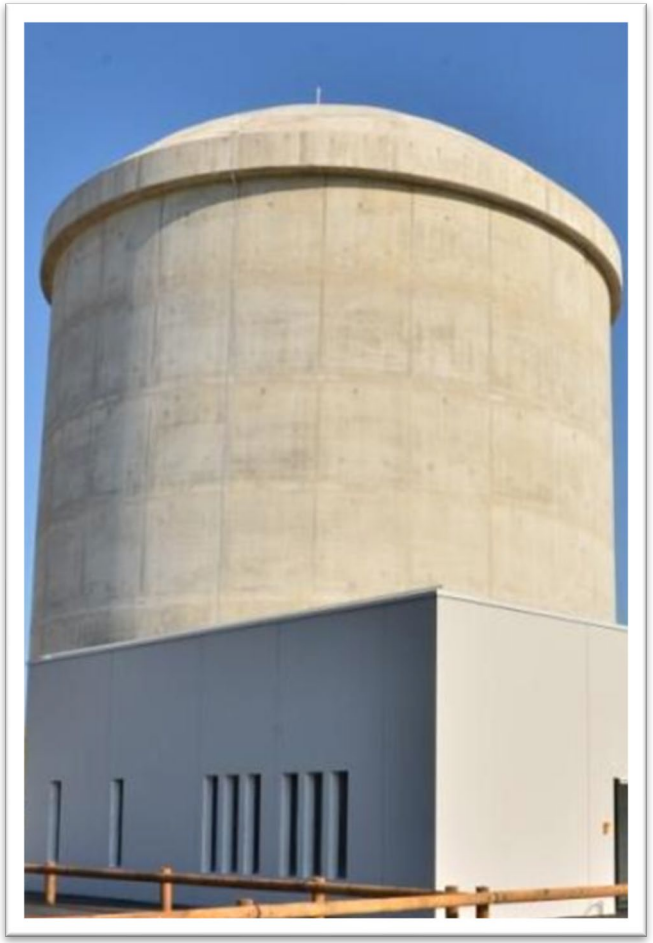
LUNDS UNIVERSITET

Vercors - vad är det?

- Namnet på ett stort forskningsprojekt – en reaktorinneslutning byggd i skala 1:3 samt **en digital tvilling**
  - Stort mätsystem - temperatur – fuktighet – deformationer- luftläckage
- En internationell benchmark
  - Mål att simulera en reaktorinneslutnings
    - Mekaniska beteende
    - Luftläckage
  - Från uppförande fram till avveckling
- Projektet organiseras av eDF, Électricité de France.

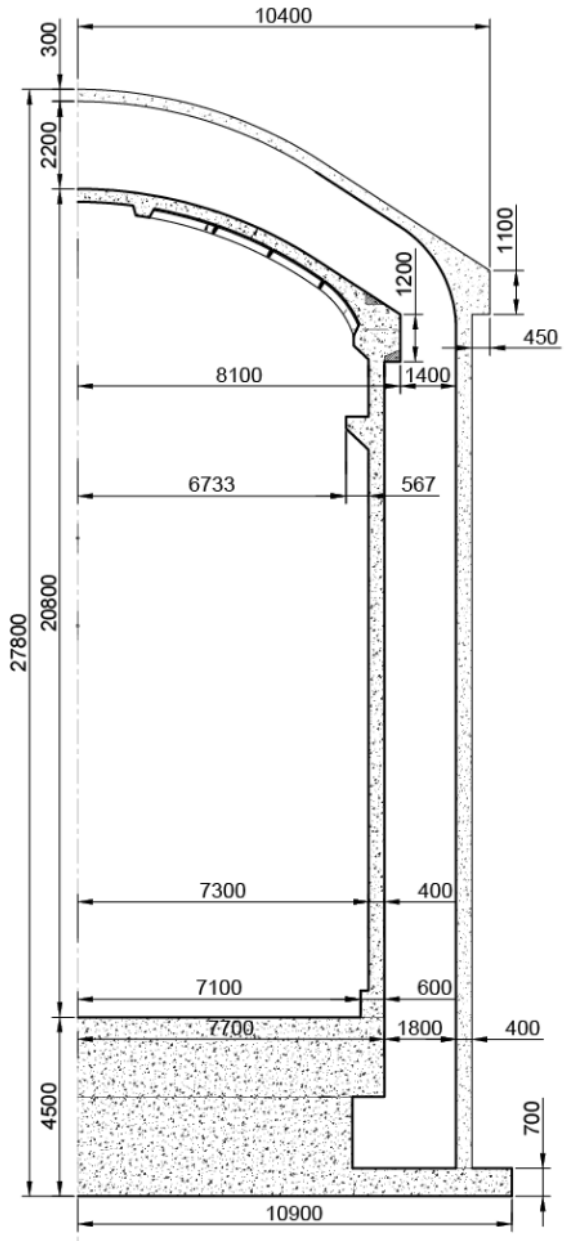
Reaktorinneslutning

Ett stor spännarmerad konstruktion.
Ett betongrör på en tjock betongplatta med ett välvt betongtak.



Modellering

- Dubbelväggig reaktorinneslutning
  - **Räknar på den inre betongkonstruktionen!**
- Deformationer
  - Kort sikt
  - Lång sikt
- Fukt
- Temperatur
- Läckage
- Jämföra mot mätning!

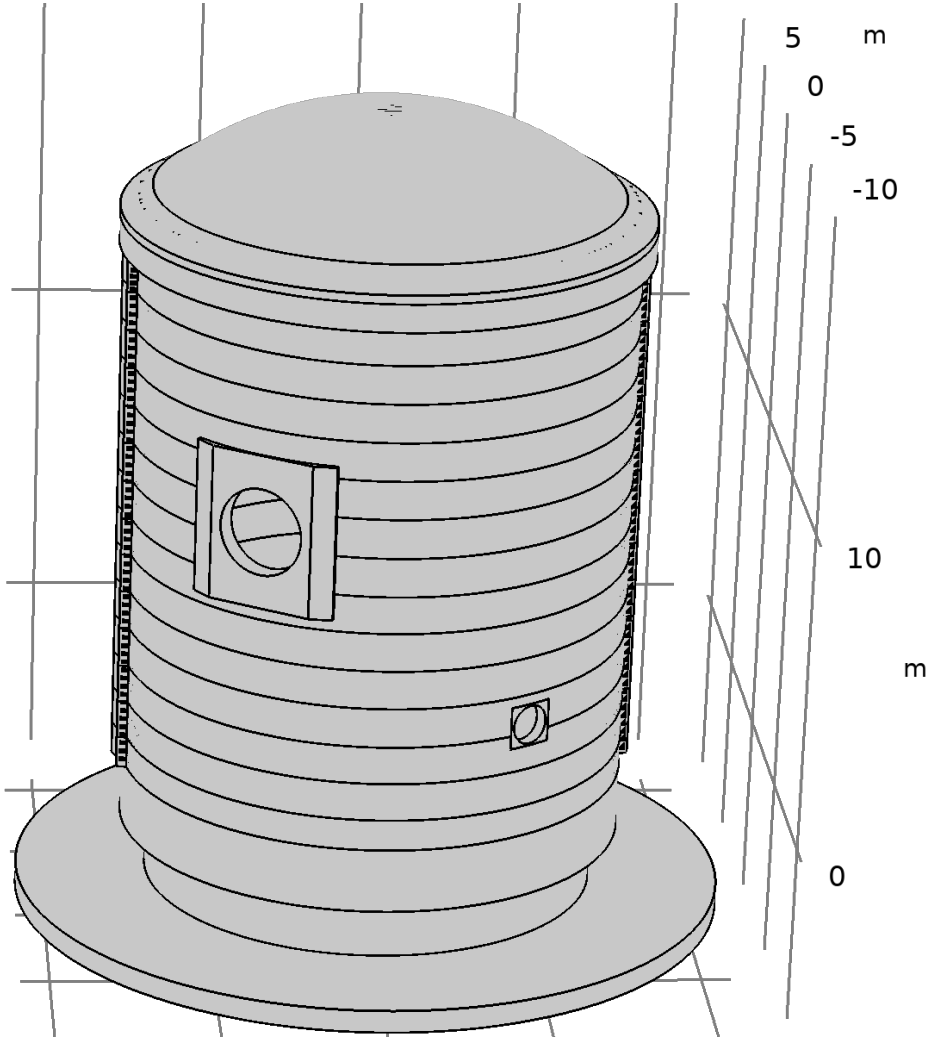


Energiforsk

LUNDS UNIVERSITET

Geometri Betong

- Betongkonstruktion skala 1:3
  - Representativt – ökar uttorkningshastigheten 9 gånger
  - Åldringen/krypning/krympning sker 9 gånger snabbare
- 25,3 m hög och 15,4 m i diameter
- Cylindervägg 0,4 m istället för 1,2 m

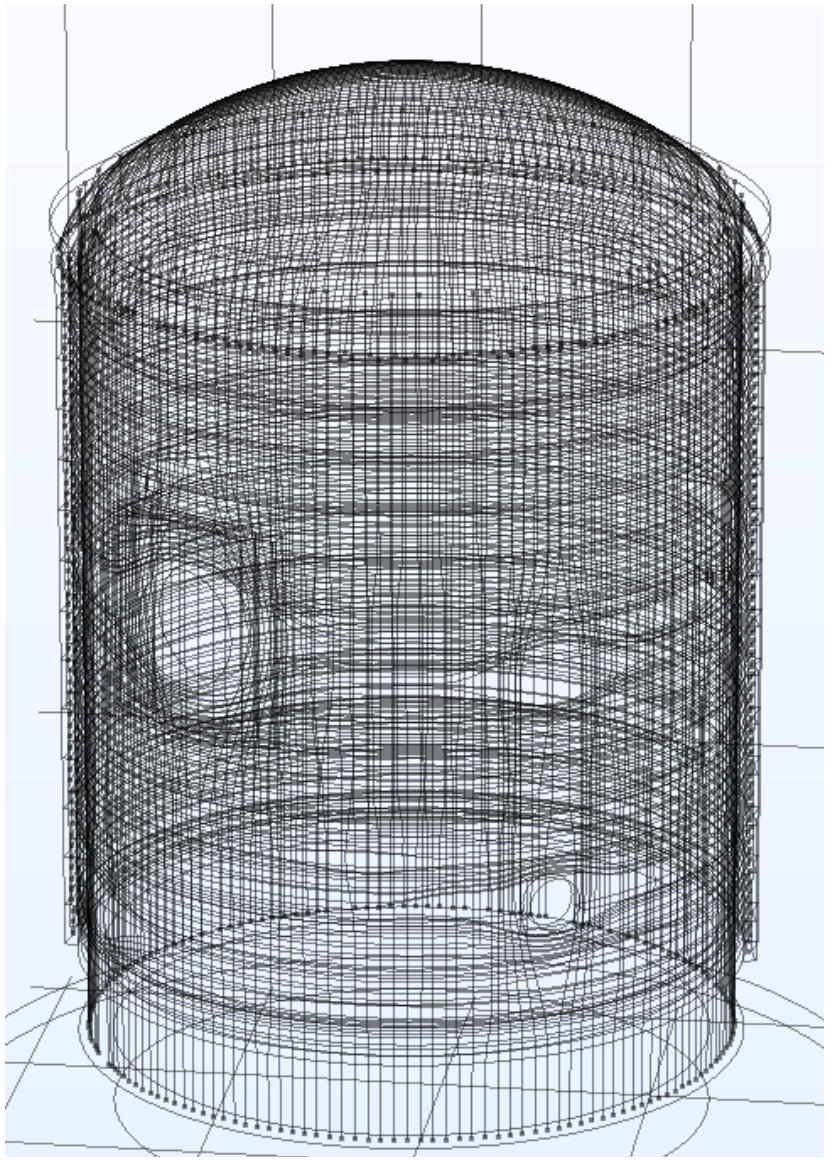


Energiforsk

LUNDS UNIVERSITET

Geometri spännarmering

- Komplicerad geometri

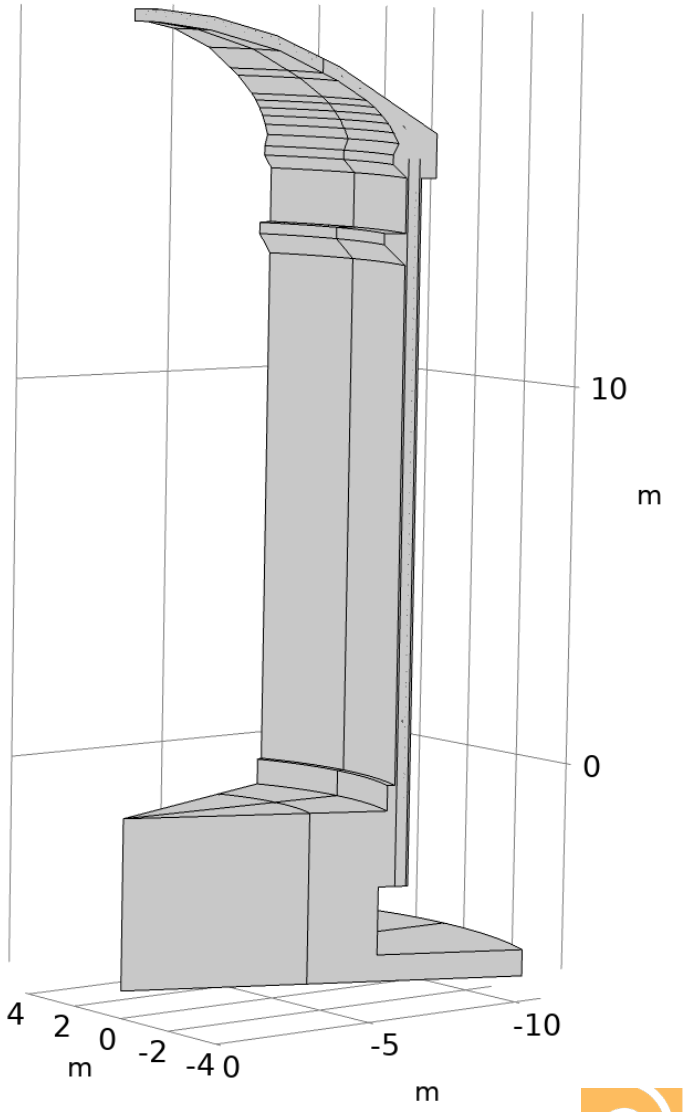


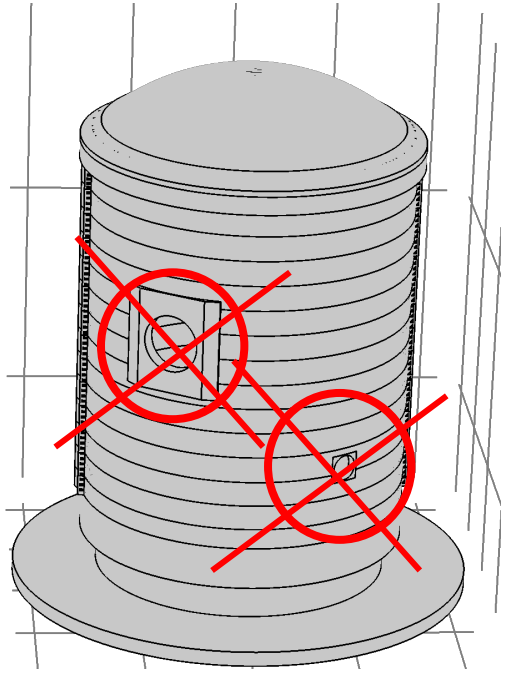
Förenklad geometri

En tårtbit (cylindrisk sektor) utan genomföringar och avstyvningar

Påverkar resultat inspänning/randvillkor/elementindelning /spännarmering/beräkningstid

Något **förenklad** spännarmering





Energiforsk

LUNDS UNIVERSITET

Beräkningsprocess

Deformationer

Temperatur → Fukt → Solidmekanik 1 (Temp, fukt, elastisk) → Solidmekanik 2 (Kryp)

Läckage

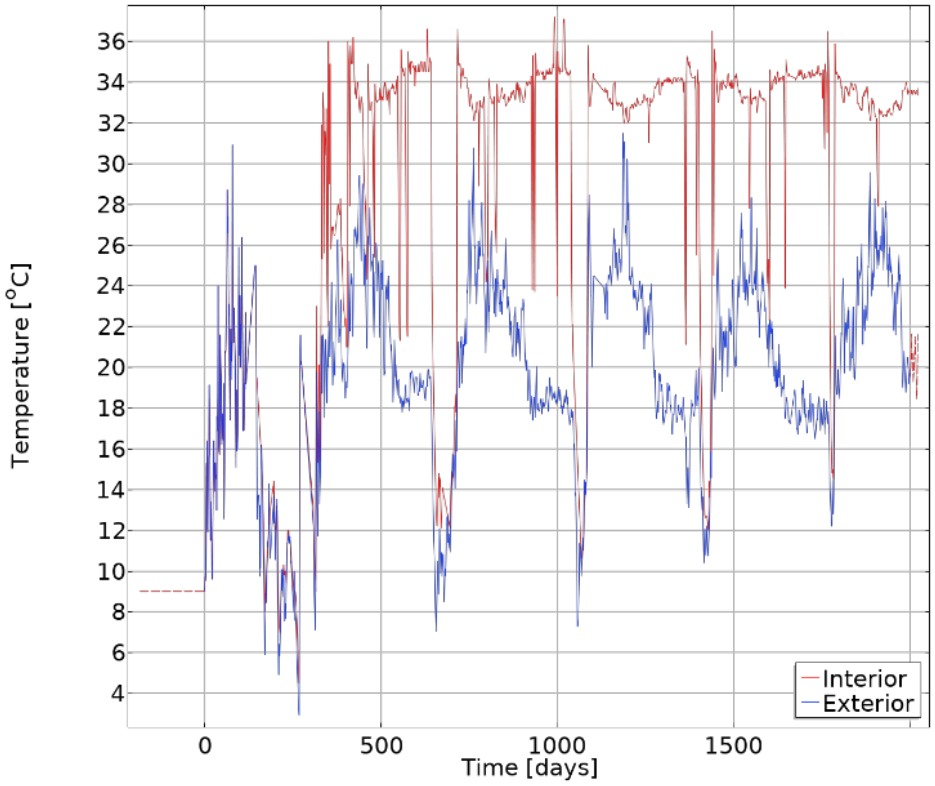
Temperatur → Fukt → Läckage

Energiforsk

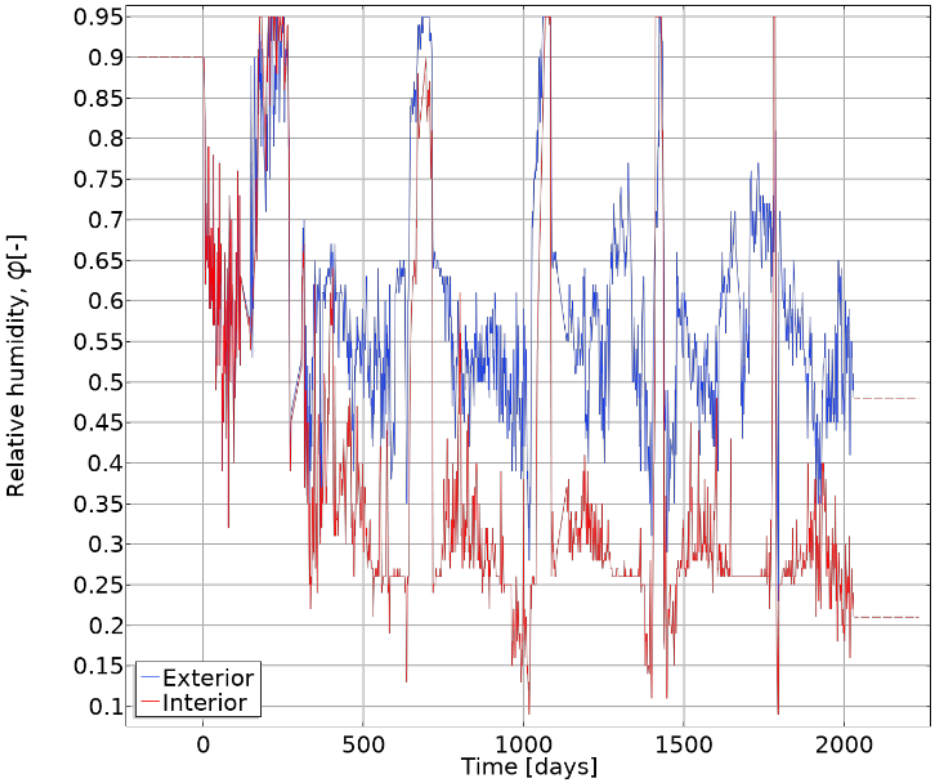
Lunds Universitet

Indata - mätdata

Temperatur



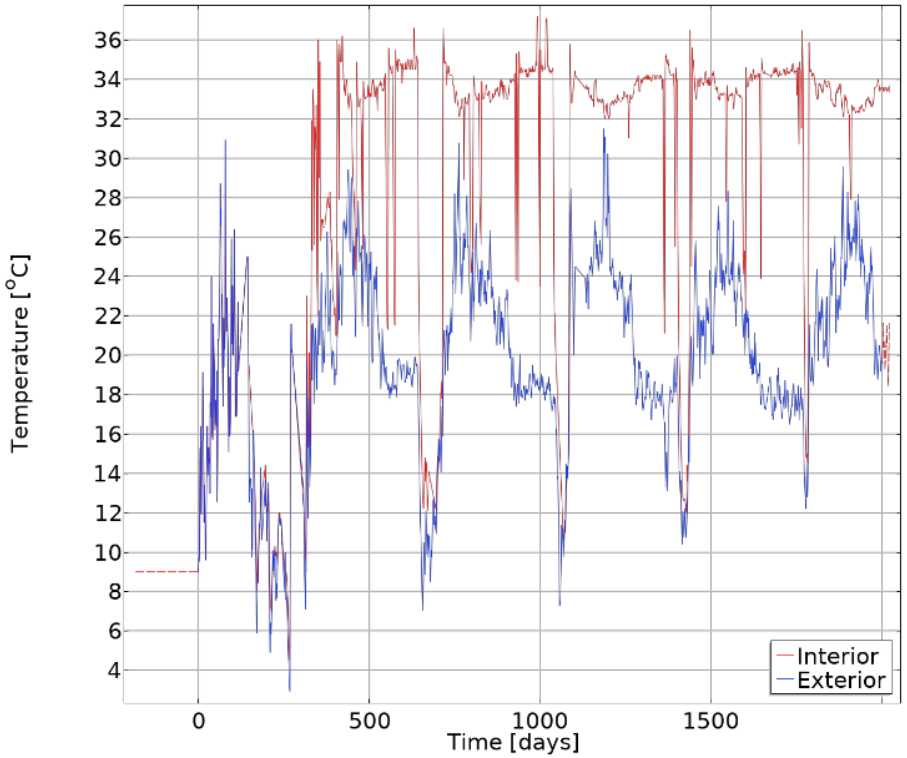
Relativ fuktighet

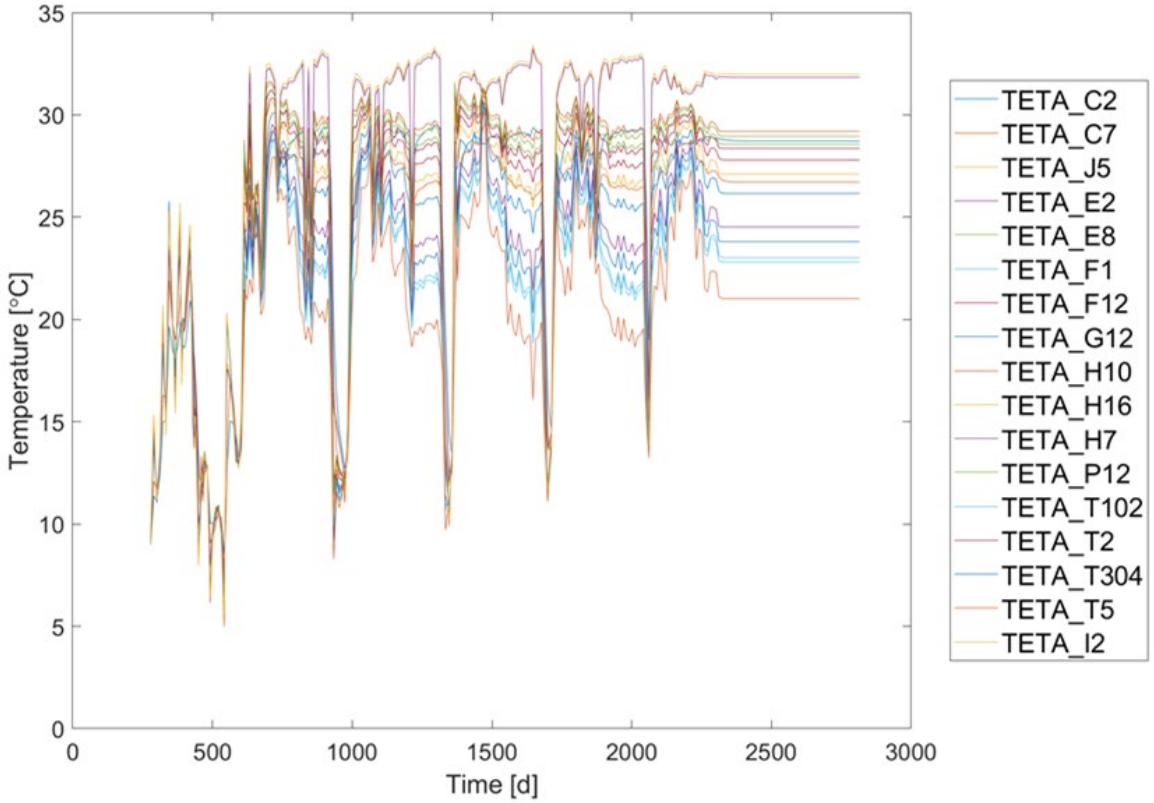


Energiforsk

LUNDS UNIVERSITET

Resultat Temperatur



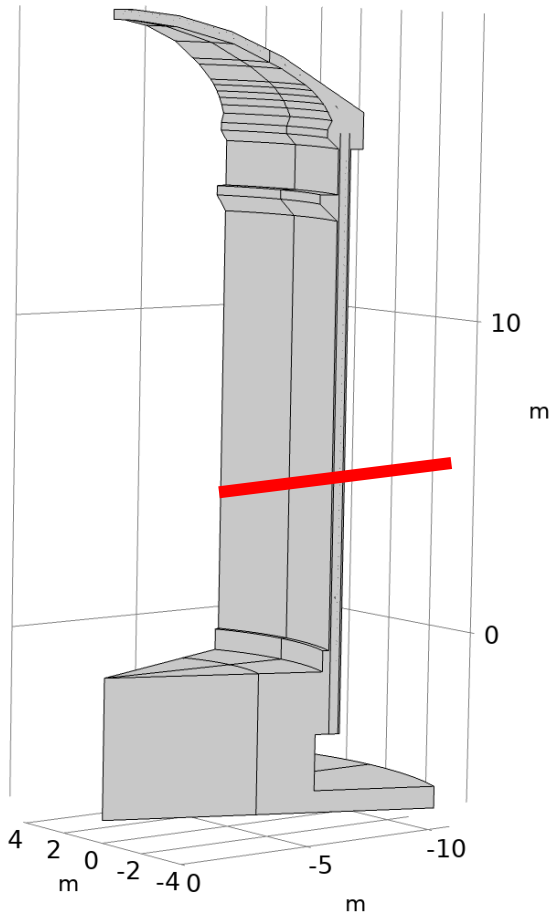


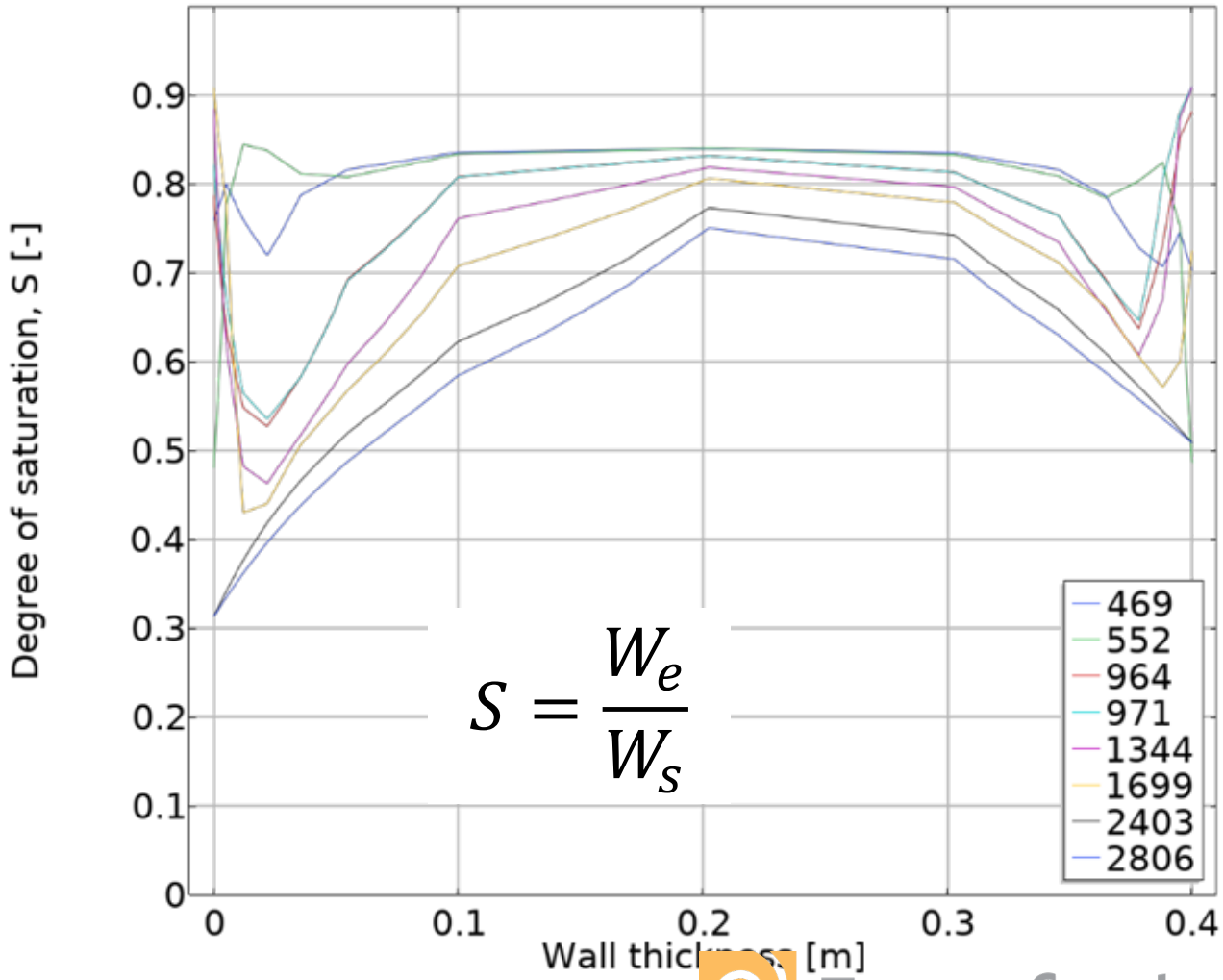
17 olika punkter i reaktorinneslutningen

Energiforsk

LUNDS UNIVERSITET

Resultat Fukttillstånd





$$S = \frac{W_e}{W_s}$$

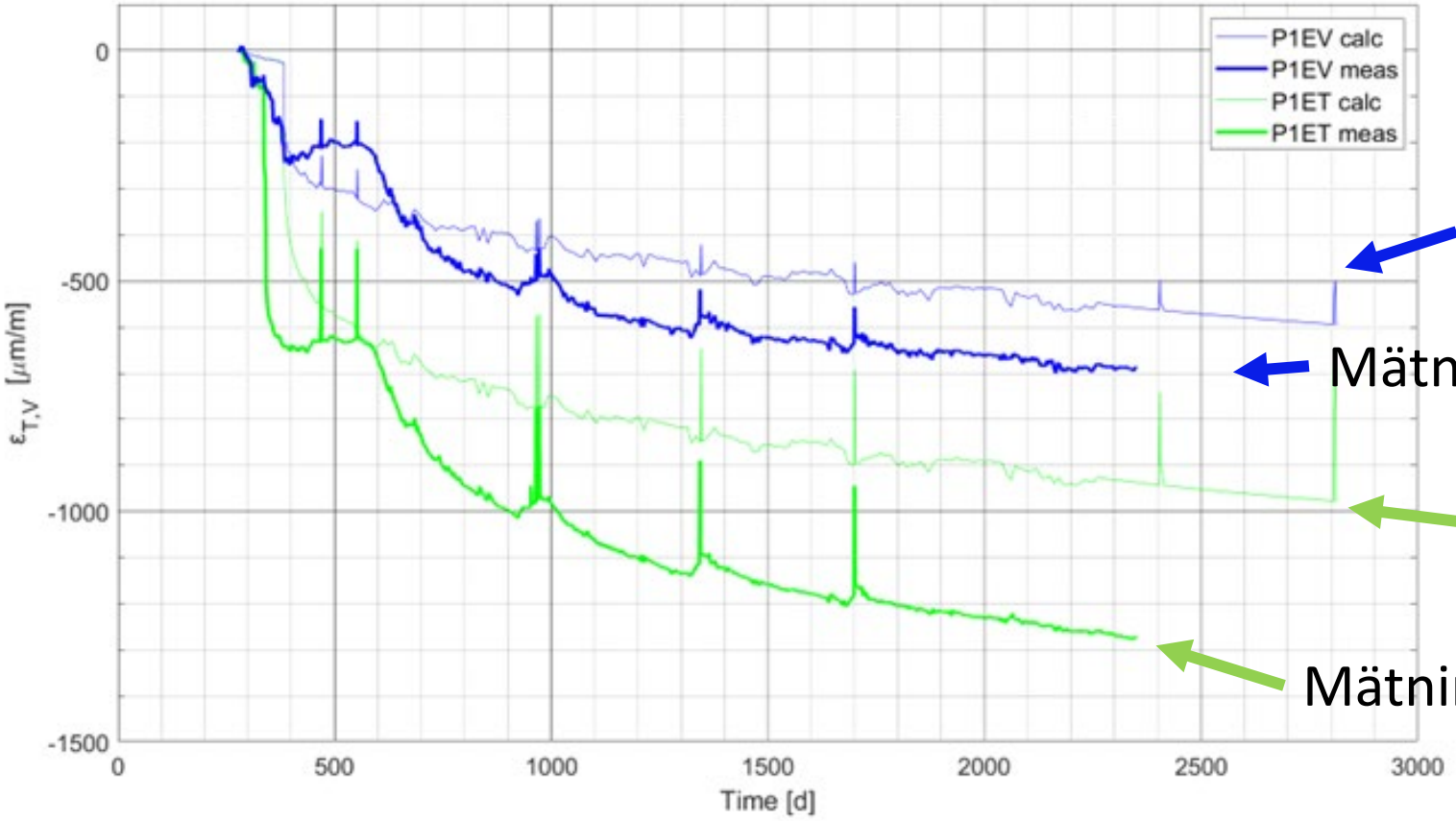
Energiforsk

LUNDS UNIVERSITET

Resultat - långtidsdeformation

Beräkningar följer det vi tror borde hända!

OBS! Temperatureffekter exkluderade i figuren!



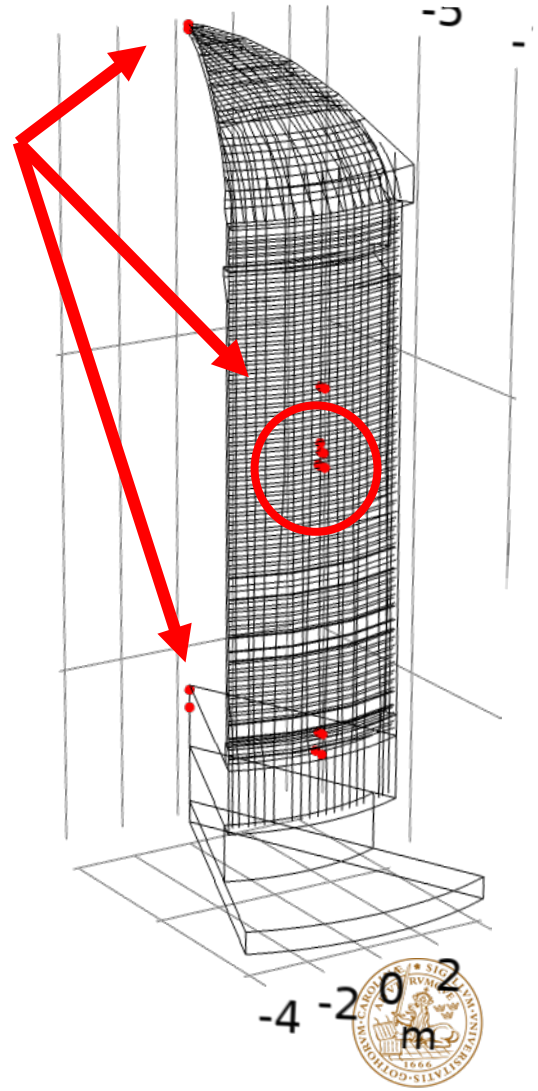
Beräkning

Mätning

Beräkning

Mätning

Punkter i geometrin



Energiforsk

LUNDS UNIVERSITET

Deformationer följer temperaturen

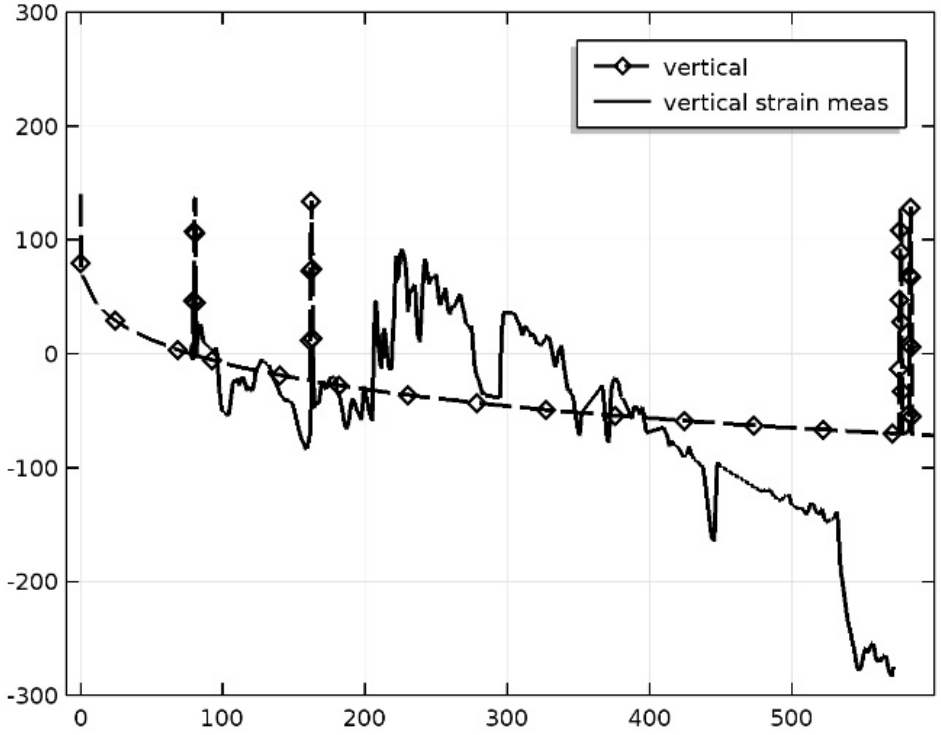


Figure 1 Vertical strains at +8.43 m in an undisturbed cross-section (10^{-6} m/m) point of reference before the first pressurization test.

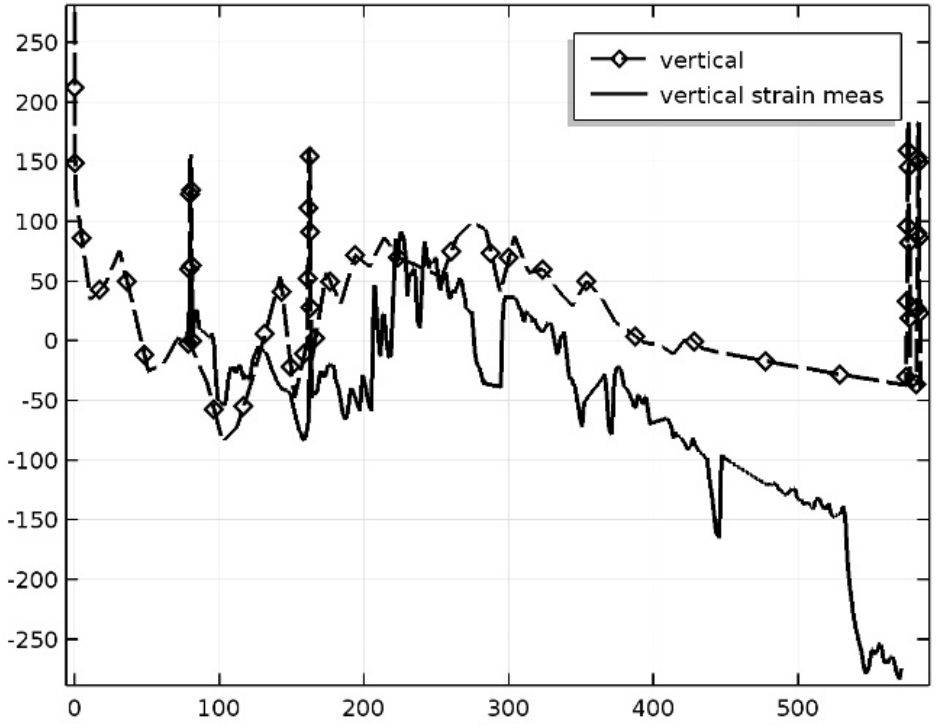


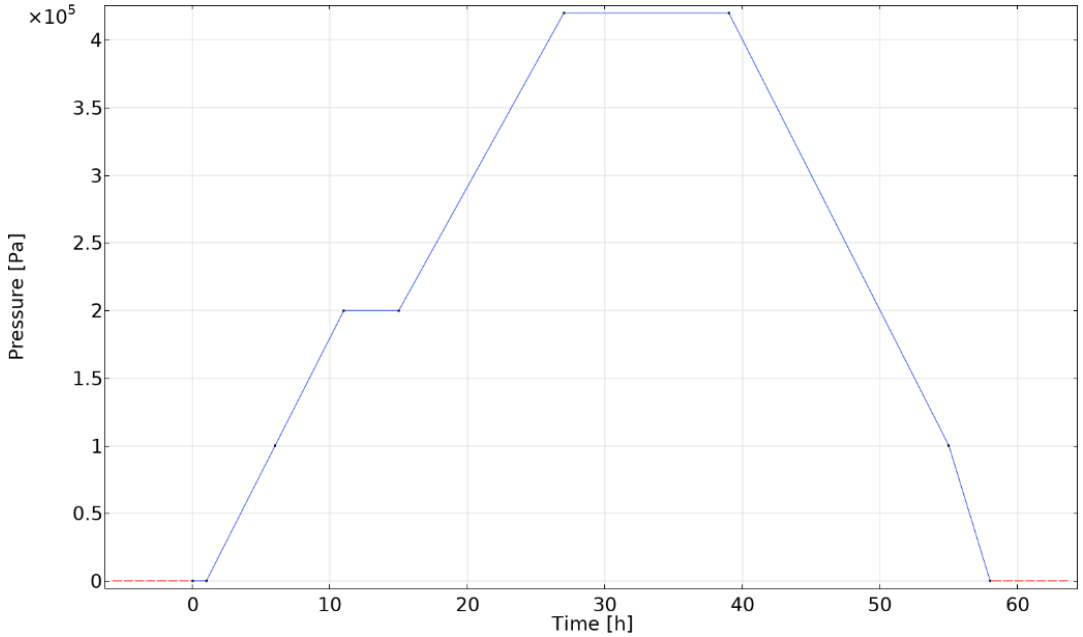
Figure 2 Vertical tangential strains at +8.43 m in an undisturbed cross-section (10^{-6} m/m) point of reference before the first pressurization test.

Energiforsk

LUNDS UNIVERSITET

Luftläckage vid trycktest

- Påverkas av
  - Materialegenskaper (gaspermeabilitet)
  - Fuktinnehåll (förändras med tiden och geometriskt)
  - Luftdensitet (stiger med trycket 1,2 kg/m^3 - 6 kg/m^3)

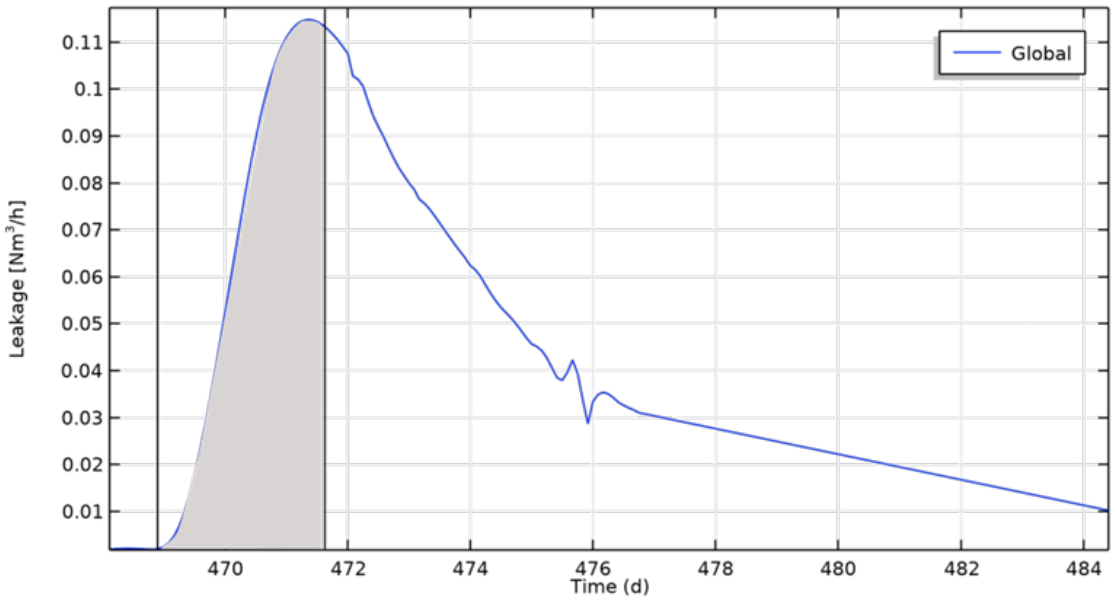


Energiforsk

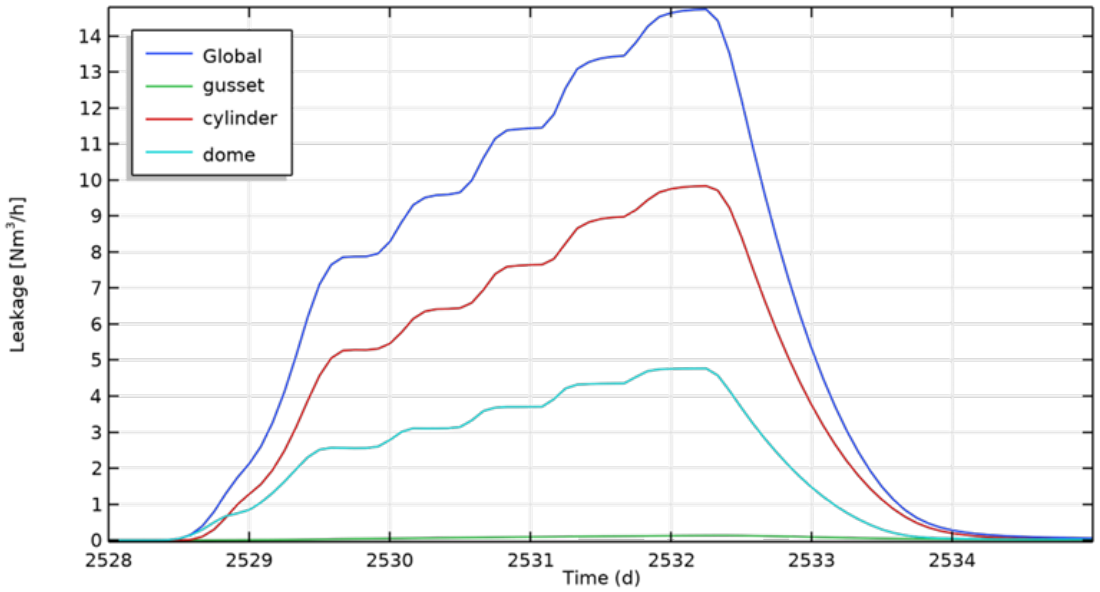
LUNDS UNIVERSITET

Resultat Luftläckage utvärdering

Första trycktestet



”Sista” testet



Integrera flödet över tiden då trycktestet genomförs.

OBS! Skala på y-axel

Energiforsk

LUNDS UNIVERSITET

Läckage resultat Nm^3/h

Pressure test	Day	Global	Local	Porous (meas)	Porous (calc)
Pré-op	469	7,7	4,3	3,4	3,7
VC1	551	9,5	7,1	2,4	3,5
VD1	964	29,6	28,5	1,1	7,2
VD1bis	971	30,3	24,8	5,5	9,5
VD2	1344	46,2	31,7	14,4	16,6
VD3	1699	57,1	38,9	18,2	41,0

LUNDS UNIVERSITET

Projektresultat

1 vetenskaplig artikel

3 rapporter

(2 publicerade på energiforsk)

(1 projekt rapporteras 2023)

ELSEVIER

Nuclear Engineering and Design

Volume 377, June 2021, 111136

Ageing and air leakage assessment of a nuclear reactor containment mock-up: VERCORS 2nd benchmark

Laurent Charpin [a], Julien Niepceron [b], Manuel Corbin [b], Benoît Masson [b], Jean-Philippe Mathieu [a], Jessica Haelewyn [c], François Hamon [c], Magnus Åhs [d], Sofía Aparicio [e], Mehdi Asali [f], Bruno Capra [f], Miguel Azenha [g], David E.-M. Bouhjiti [h, 1], Kim Calonius [i], Meng Chu [j], Nico Herrman [k], Xu Huang [l], Sergio Jiménez [m], Jacky Mazars [n], Mahsa Mosayan [o], ...Jean-Michel Torrenti [s]

Show more

+ Add to Mendeley Share Cite

https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2021.111136

Get rights and content

Highlights

- A 1/3 concrete containment building mock-up was built by EDF in France.
- An international simulation benchmark has been organised.
- The mock-up behaviour (temperature, humidity, strain and leak-tightness evolution) has been predicted by participants.

Energiforsk

LUNDS UNIVERSITET

Slutsatser

- Projektresultaten ger en stabil grund och ett exempel på modell för att kunna förutsäga reaktorinneslutningars strukturella beteende på både kort och lång sikt 50-60 år
- Temperaturförhållanden påverkar mekaniskt beteende på kort sikt
- Fuktförhållanden påverkar mekaniskt beteende på lång sikt
- Läckagemodellen visar att läckaget ökar med tiden och påverkas av fuktinnehållet i betongen

Energiforsk

LUNDS UNIVERSITET