



CENTRE FOR ENERGY RESEARCH HUNGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

Numerical Simulation of Mandrel Measurements of Fuel Claddings

Richárd Nagy

MTA EK, Hungary

Óbuda University

Budapest, 21-22. January, 2019.

Contents

Subjects and credits

3D model description

- Contents
- Purpose of simulations (mandrel tests)
- Model development (yield curve transformation)
- Results

Articles published

Study summary (in Hungarian)

I. semester

- **A képlékenységtan alapjai** (6) - Ruzinkó Endre - jó *
- **Szilárdtestkémia** (6) - Stirling András - jeles *
- Anyagtudományi szeminárium (3) - Recskiné Borsa Judit - teljesítette
- Kutatási projekt 1 (10) - aláírás
- Kutatási beszámoló 1 (6) - teljesítette

II. semester

- **Válogatott fejezetek az anyagvizsgálati módszerekből 1** (6) - Takács Erzsébet - jó *
- **A képlékenység kúszás nem klasszikus feladatai** (6) - Ruzinkó Endre - jó *
- **Hőtranszport végeelem modellezése** (6) - Borsa Sándor - jeles *
- Kutatási projekt 2 (10) - aláírás
- Kutatási beszámoló 2 (6) - teljesítette

III. semester

- **Válogatott fejezetek az anyagvizsgálati módszerekből 2** (6) - Recskiné Borsa Judit - jó *
- Orosz nyelv kezdő (2) - Solymosiné Molnár Margit - jó
- Interfaces (English) (3) - Horváth Márk - jó
- Kutatási projekt 3 (10) - aláírás
- Kutatási beszámoló 3 (6) - teljesítette

IV. semester

- **Korszerű módszerek a tömegspektrometriában** (6) - Kéki Sándor *
- **Polimerek fizikai kémiája** (6) - Pekker Sándor - közepes *
- Kutatási projekt 4 (10) - aláírás
- Kutatási beszámoló 4 (6) - teljesítette

V. semester

- Orosz középfeladók (2) - Krepler Erzsébet - jó
- **Kísérletek tervezése és értékelése** (6) - Horváthné Drégely-Kiss Ágota *
- Kutatási projekt 5 (10) - aláírás
- Kutatási beszámoló 5 (10) - teljesítette

Objectives

Radiolysis and corrosion during normal operation give a H content cladding creep + pellet swelling → pellet pushes cladding (PCMI)

Zirconium filled by hydrogen → harder and more rigid material

Mandrel measurements were carried out to characterize E110/E110G

My task: to create 3D finite element model to simulate mandrel tests including non-linear plastic deformation

THE PURPOSE TO MODEL PCMI WITH HYDROGEN CONTENT

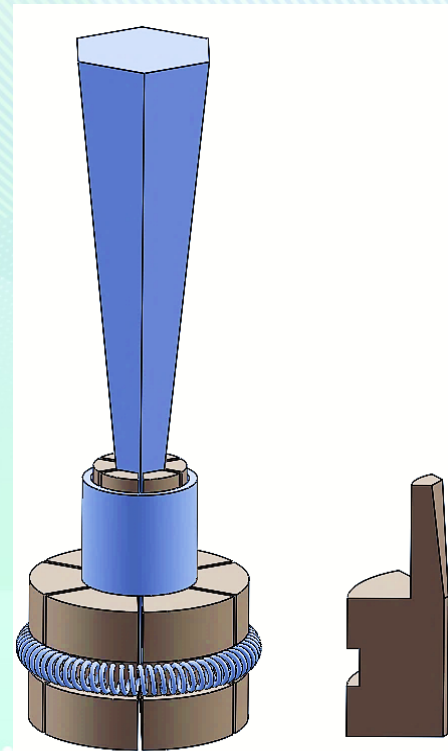
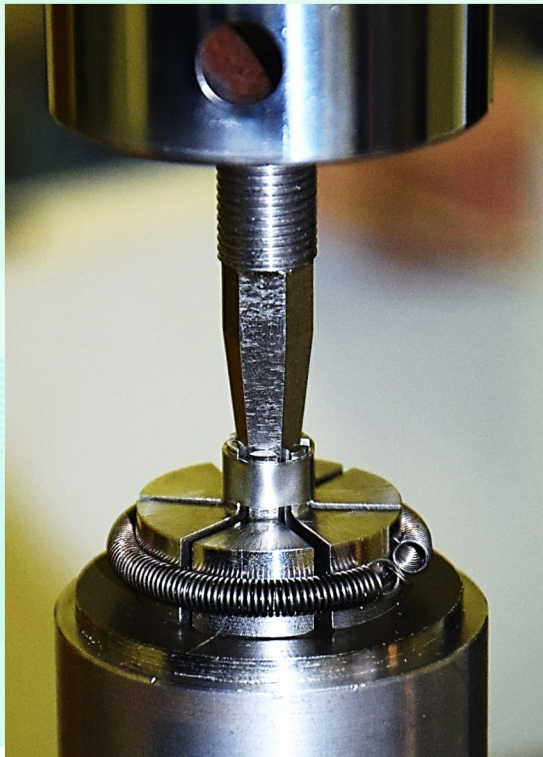
Mandrel tests

Pushing a needle into mandrel segments

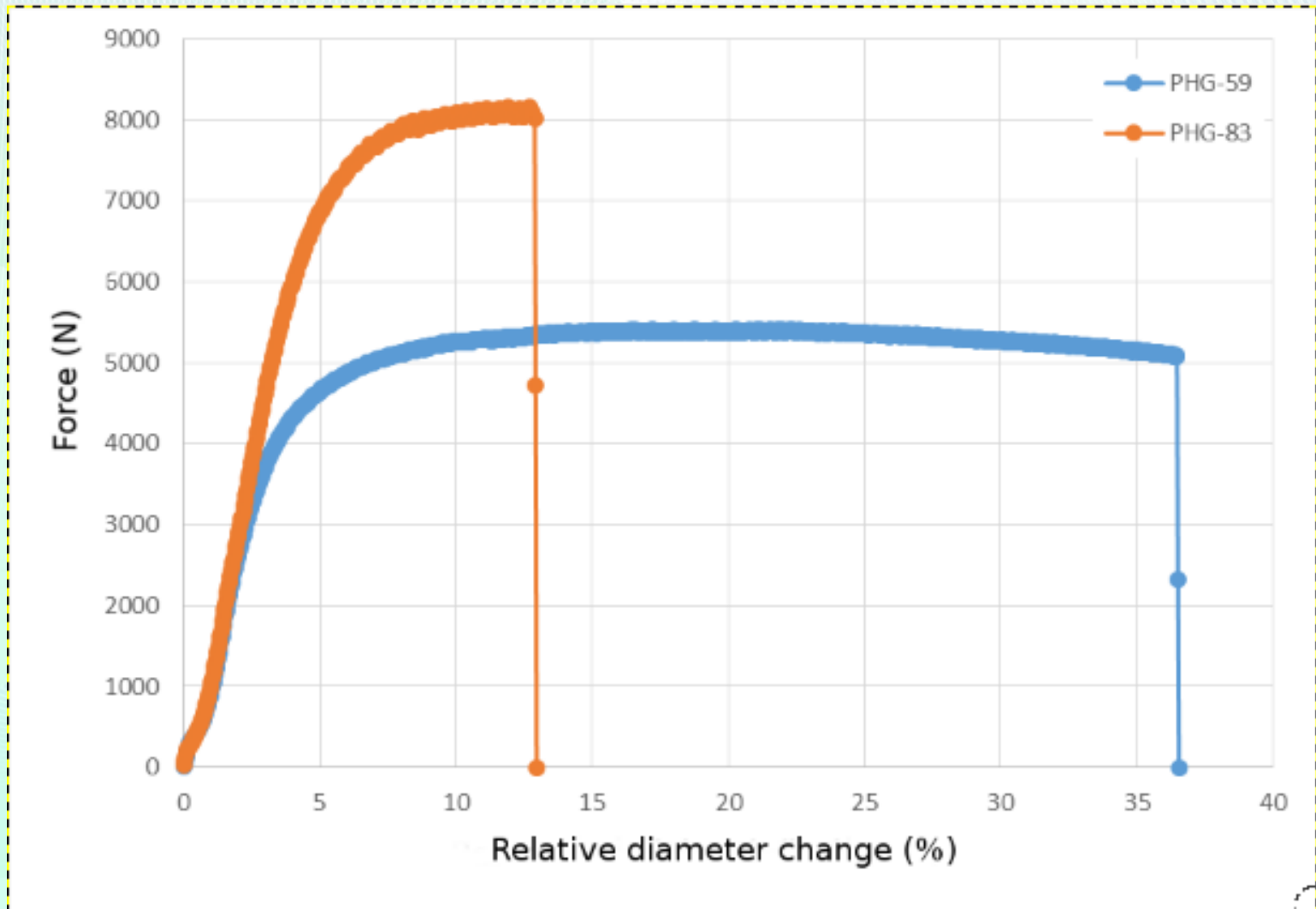
Segments prise open then damage the pipe

Measuring pushing force versus needle displacement

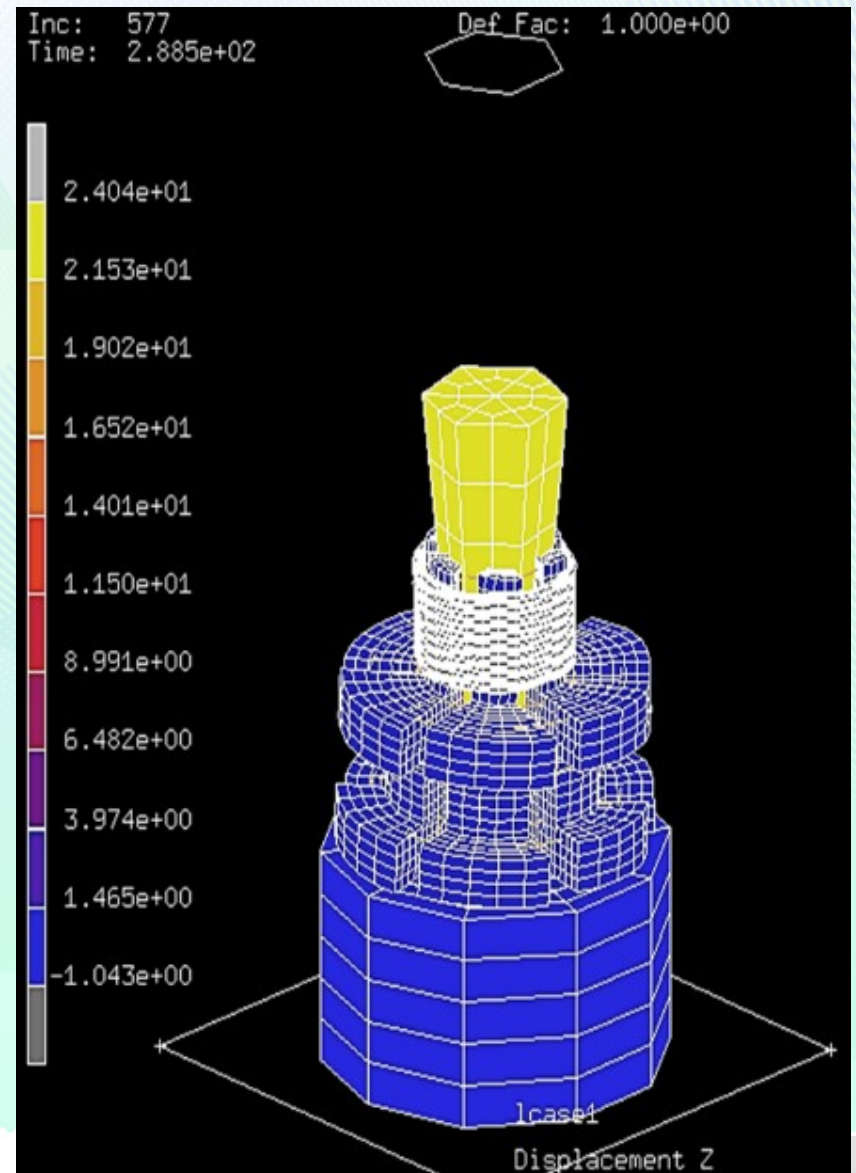
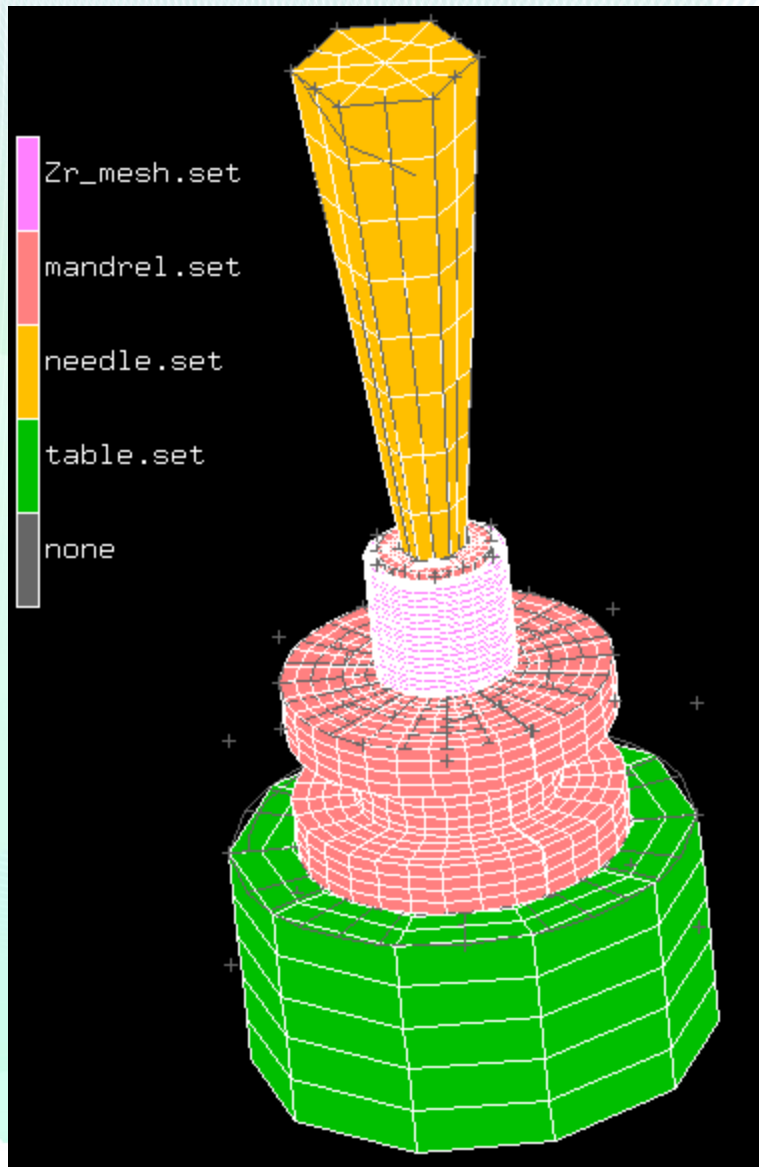
Curves characterise material properties radially



Mandrel tests (PHG-59, 627 ppm, PHG-83, 2059 ppm)

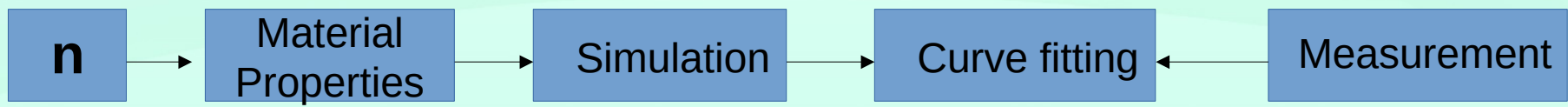
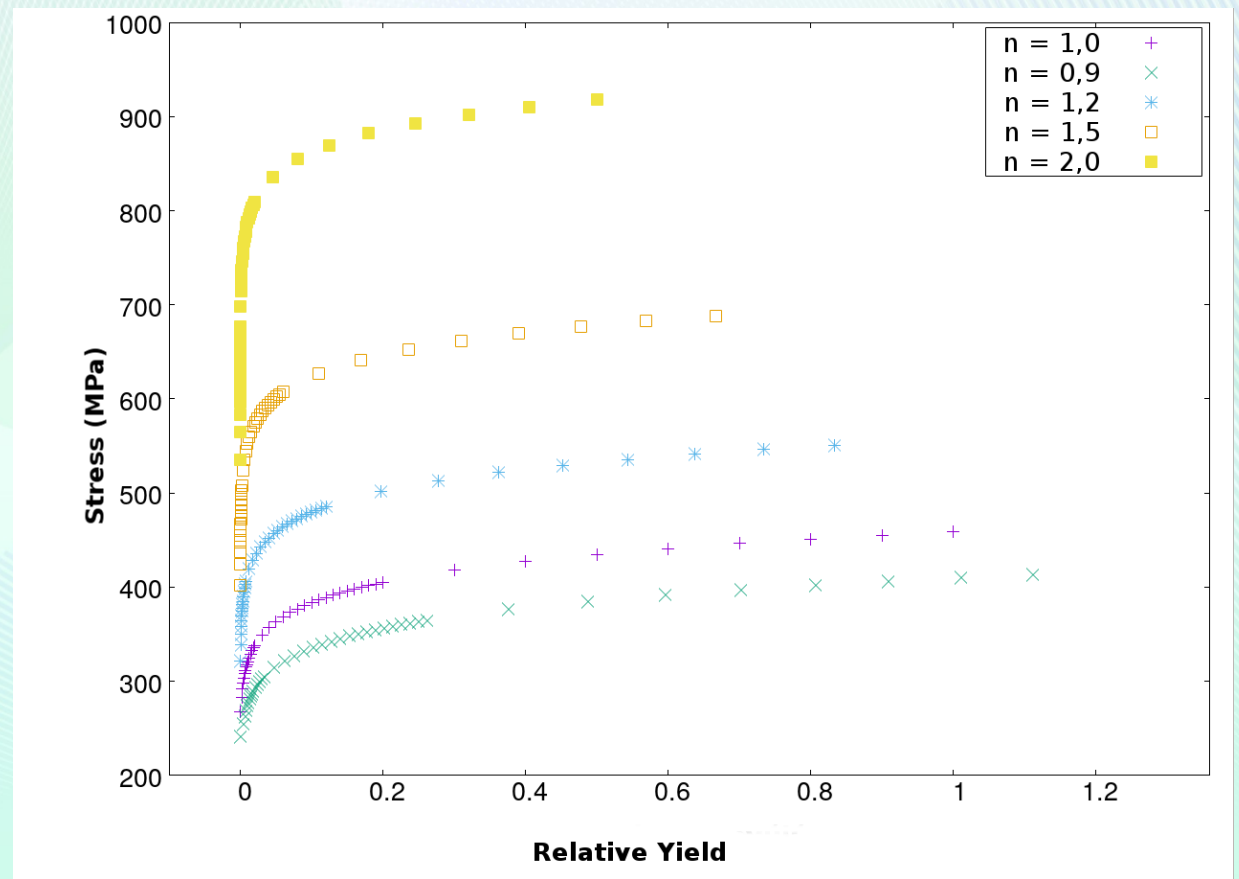


3D finite element model

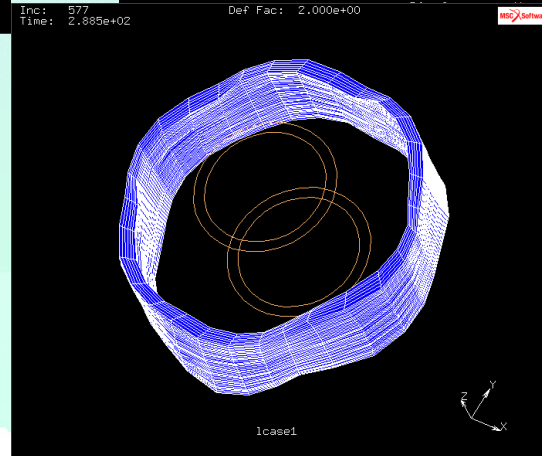
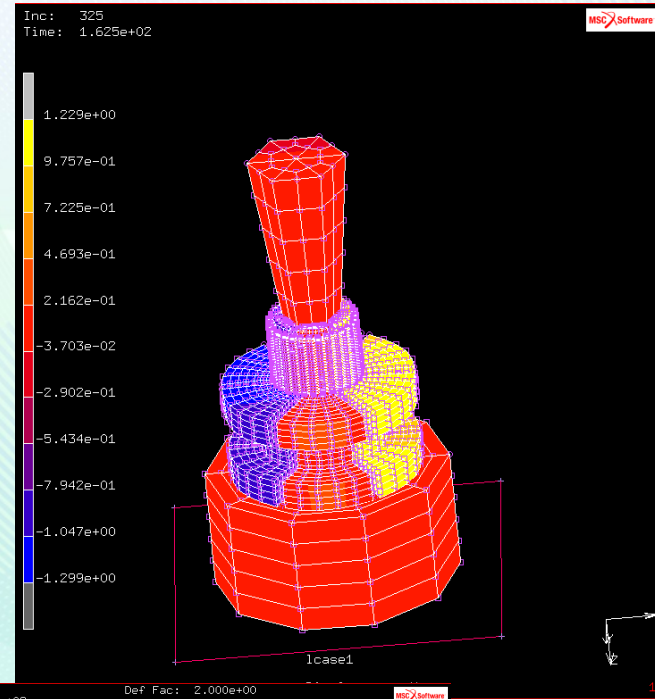
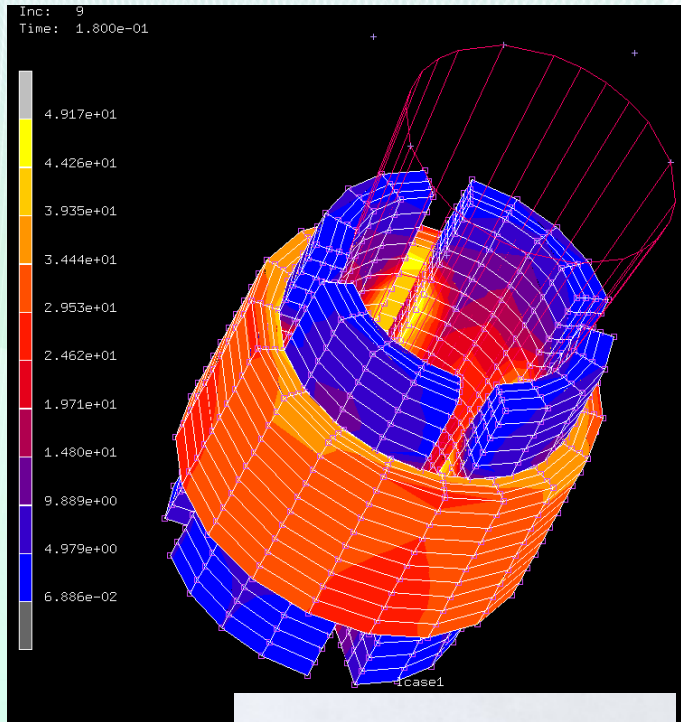


Yield curve transformation

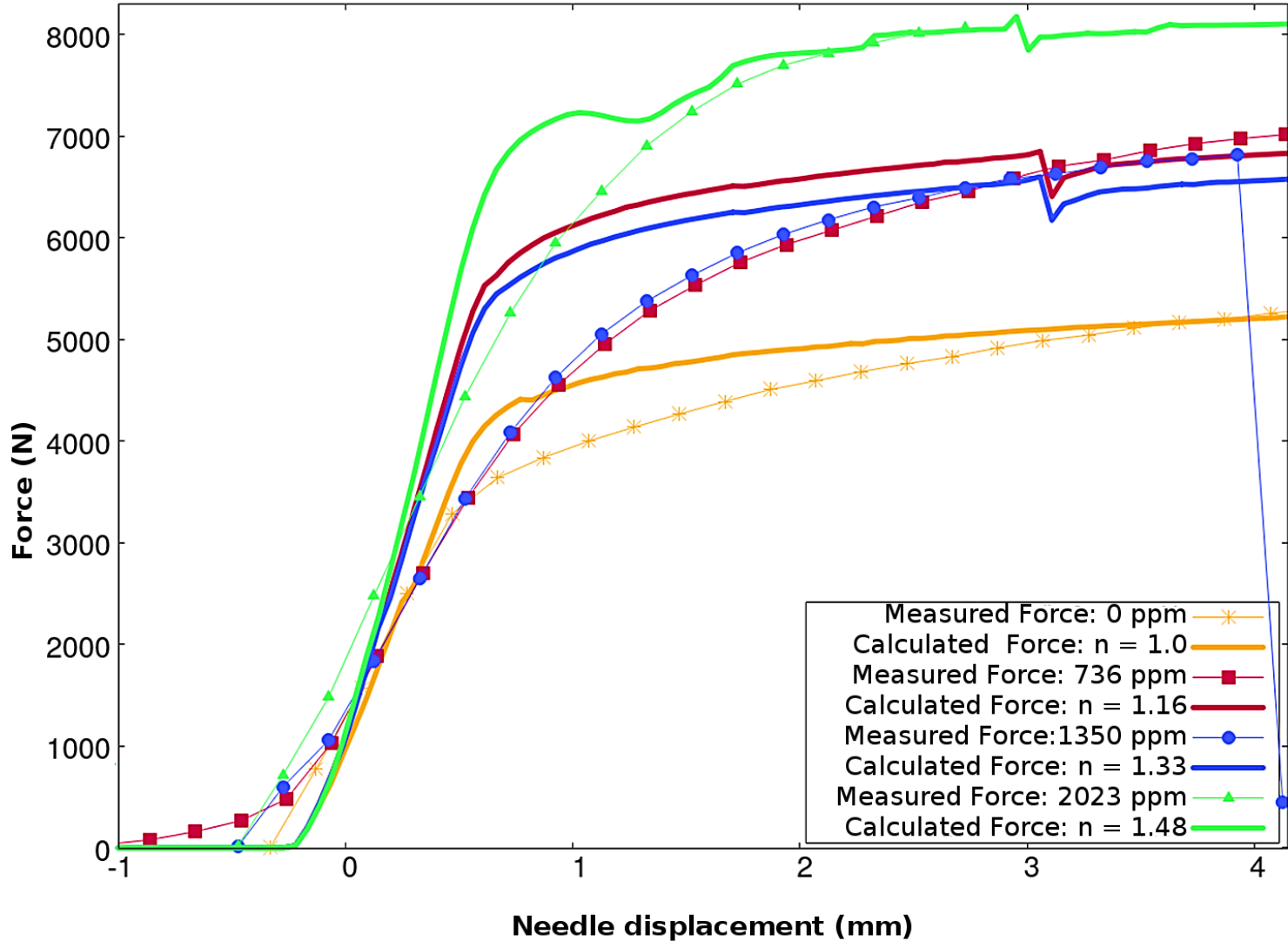
$$(\sigma, \varepsilon) \rightarrow \left(n\sigma, \frac{\varepsilon^n}{n} \right)$$



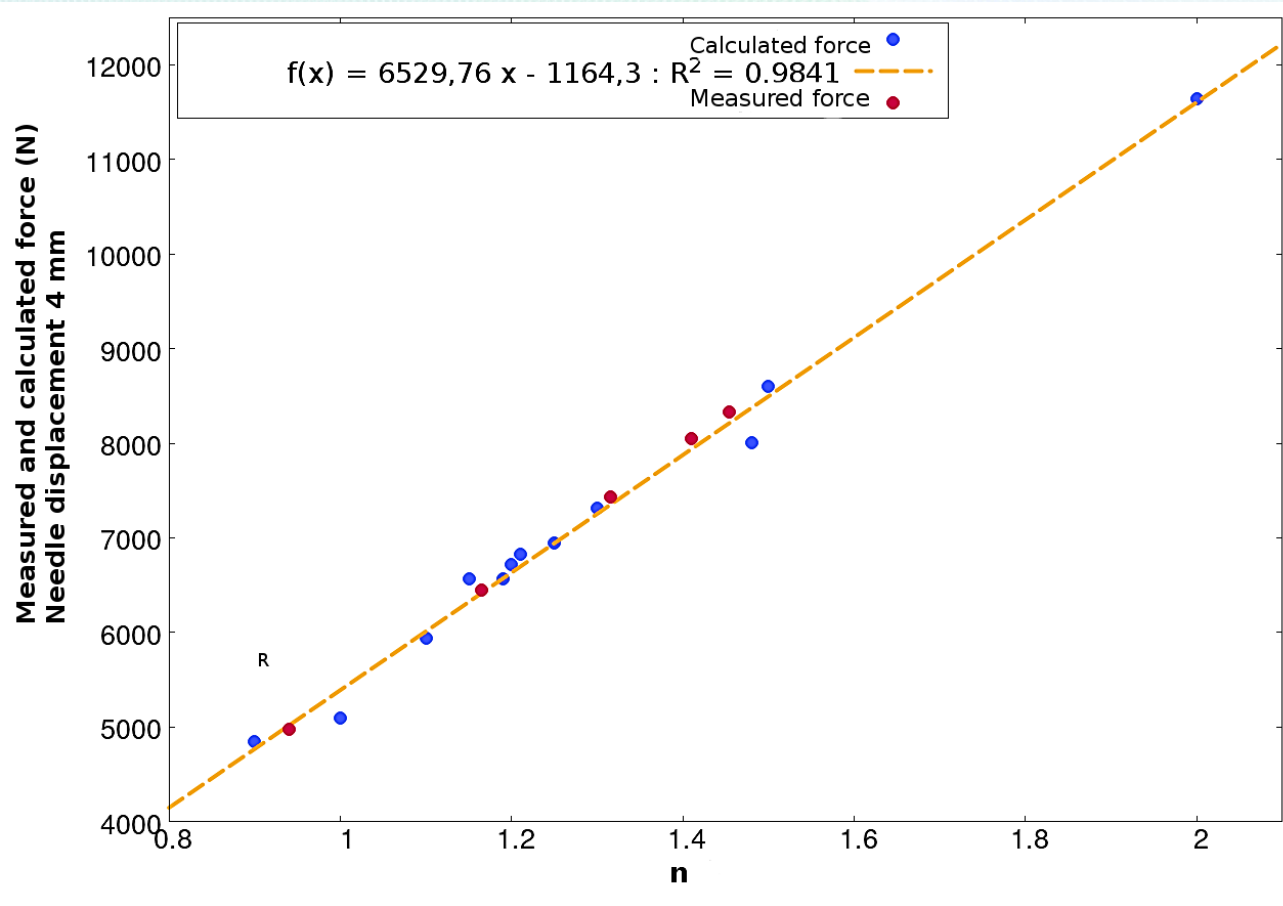
Result of simulation I.



Result of simulation II.

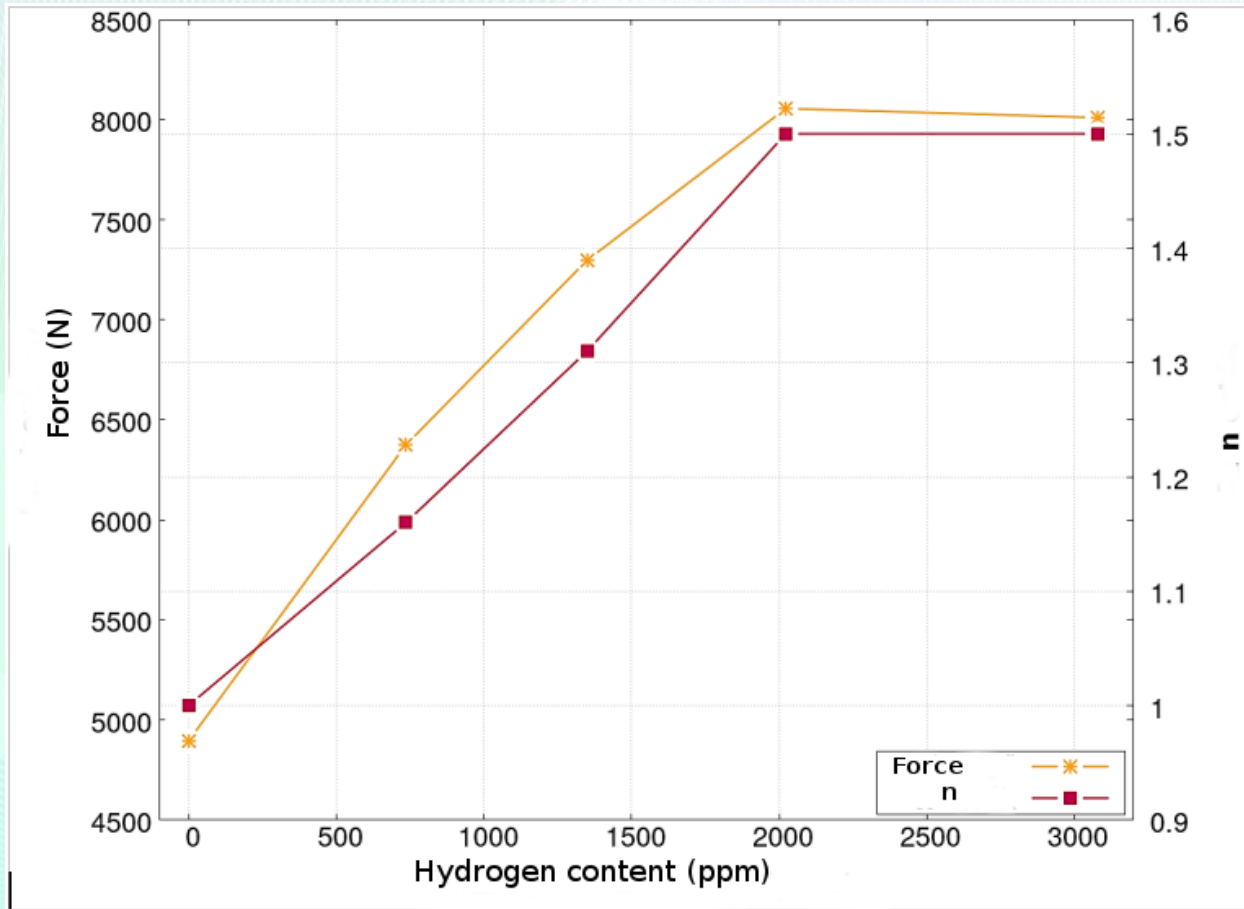


Result of simulation II.



The relationship between F and “n” was found to be linear

Result of simulation II.



“n” content and the force at 4 mm needle-displacement is seen. At around 2000 ppm, forces was not increased with hydrogen content.

Summary and Conclusion

A 3D finite element model was developed to simulate mandrel tests of E110/E110 G nuclear fuel claddings.

The model was validated based on real measurement data.

According to all measured and calculated force curve (in function of the needle displacement) a modified yield curve was applied for calculations.

I have found a series of “n” number which modify yield curve appropriately to simulate mandrel tests with respect to the hydrogen content in samples.

References (Hungarian Reports)

Király Márton, **Nagy Richárd**, Hózer Zoltán, Fűtőelem-burkolatok elridegedésének vizsgálata szegmentált szerszámmal, Kutatási jelentés, MTA EK-FRL-2015-989-1-1-M0

Nagy R., Király M., Fűtőelem burkolatok burkolat cső Mandrel tesztjének végeelemes szimulációja, 2017, MTA EK-FRL-2017-236-1-1-M0

Király M., Horváth L., Uri G., Cselovszki J., **Nagy R.**, Vér N., et. al., Mandrel szerszámmal végzett fűtőelem-burkolat képlékenységi vizsgálatok, 2017, MTA EK-FRL-2017-989-1-1-M0

Nagy R., Antók D., Király M., Tatár L., Hidrogénezett cirkónium burkolatcsövek Mandrel mérésének végeelemes modellezése, 2018, EK-FRL-2018-236-1-1-M0



Articles published

R. Nagy, K. Márton, T. Szepesi, A. G. Nagy, Á. Almási, Optical Observation of the Ballooning and Burst of Zirconium Cladding Tubes, 2018, **Nuclear Engineering and Design**, 1 December 2018, vol. 339, Pages 194-201

R. Nagy, K. Márton, T. Szepesi, A. G. Nagy, Optical Measurement of the High Temperature Ballooning of E110 Nuclear Fuel Cladding Tubes, **Review of Scientific Instruments**, vol. 89. Issue 12 5114, (2018)



CENTRE FOR ENERGY RESEARCH HUNGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

Thank you for your attention!

nagy.richard@energia.mta.hu