

Small Punch vizsgálat kiértékelése inverz végelelemes módszerrel a mechanikai anyagjellemzők meghatározására

Szerkezetintegritás Osztály

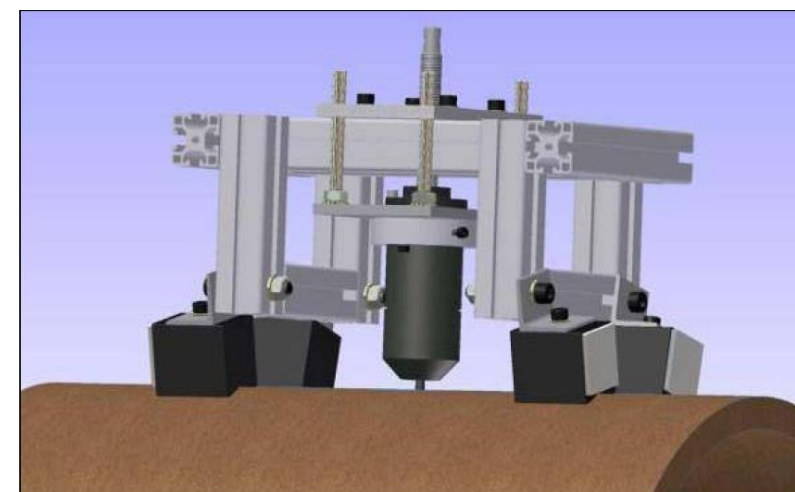
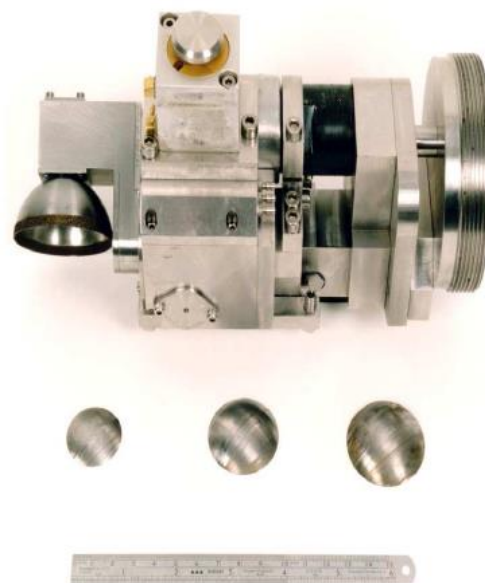
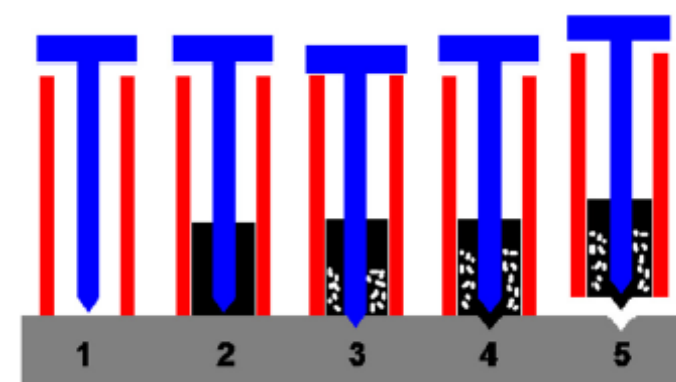
**Szávai Szabolcs
Rózsahegyi Péter
Beleznai Róbert
Szűcs Máté**



Bevezető

Szerkezetek öregedésének vizsgálata és állapotuk felügyelete megköveteli az aktuális anyagjellemzők ismeretét.

Szabványos méretű próbatestek kivágására nincs minden esetben lehetőség.

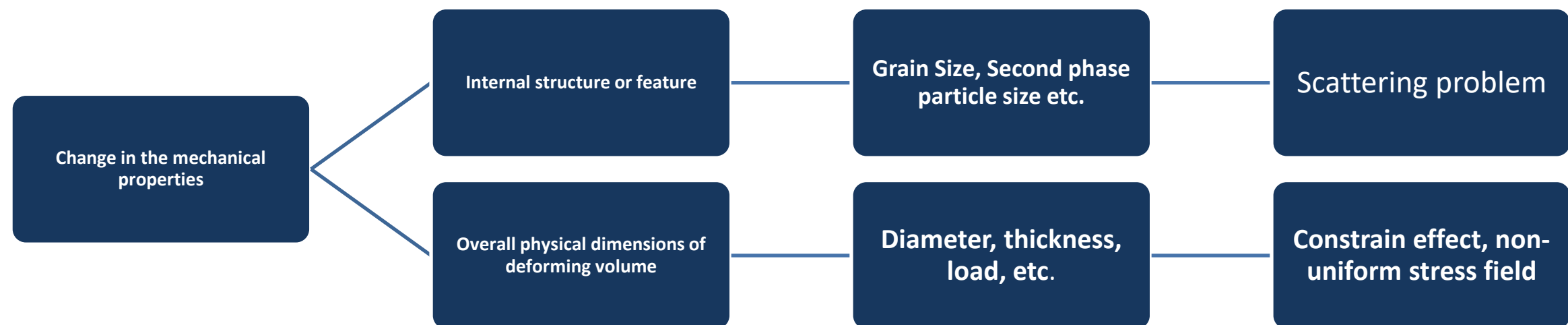
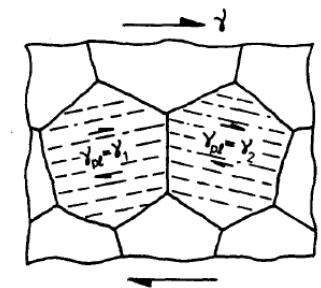
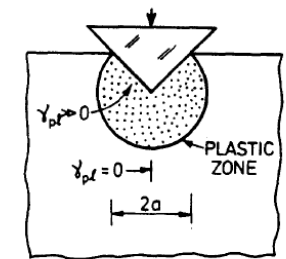
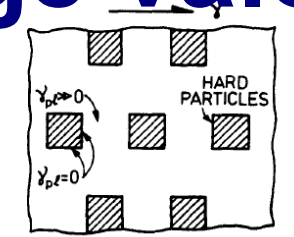


Mini próbatestes vizsgálatoknál a megválaszolandó kérdés

- 1) A **kisméretű próbatestekre** vonatkozó vizsgálati módszerekkel kinyerhető információk és a **hagyományos mechanikai vizsgálatokkal** meghatározott anyagjellemzők **közötti korrelációs kapcsolatok** és azok megbízhatóságának elemzése.
- 2) A károsodási folyamatok és geometriai hatások (gátolt alakváltozás, feszültségállapot) szétválasztása, illetve a **geometriai hatások** károsodási folyamatokra gyakorolt hatásának **vizsgálata**.

Kulcskérdés az eredmények átvihetősége valós szerkezetekre

- Az anyag nem tud semmit a próbatest alakjáról
- Az anyagtulajdonság egy adott energetikai, feszültség, alakváltozási és termodinamikai állapotban való viselkedését jellemzi.



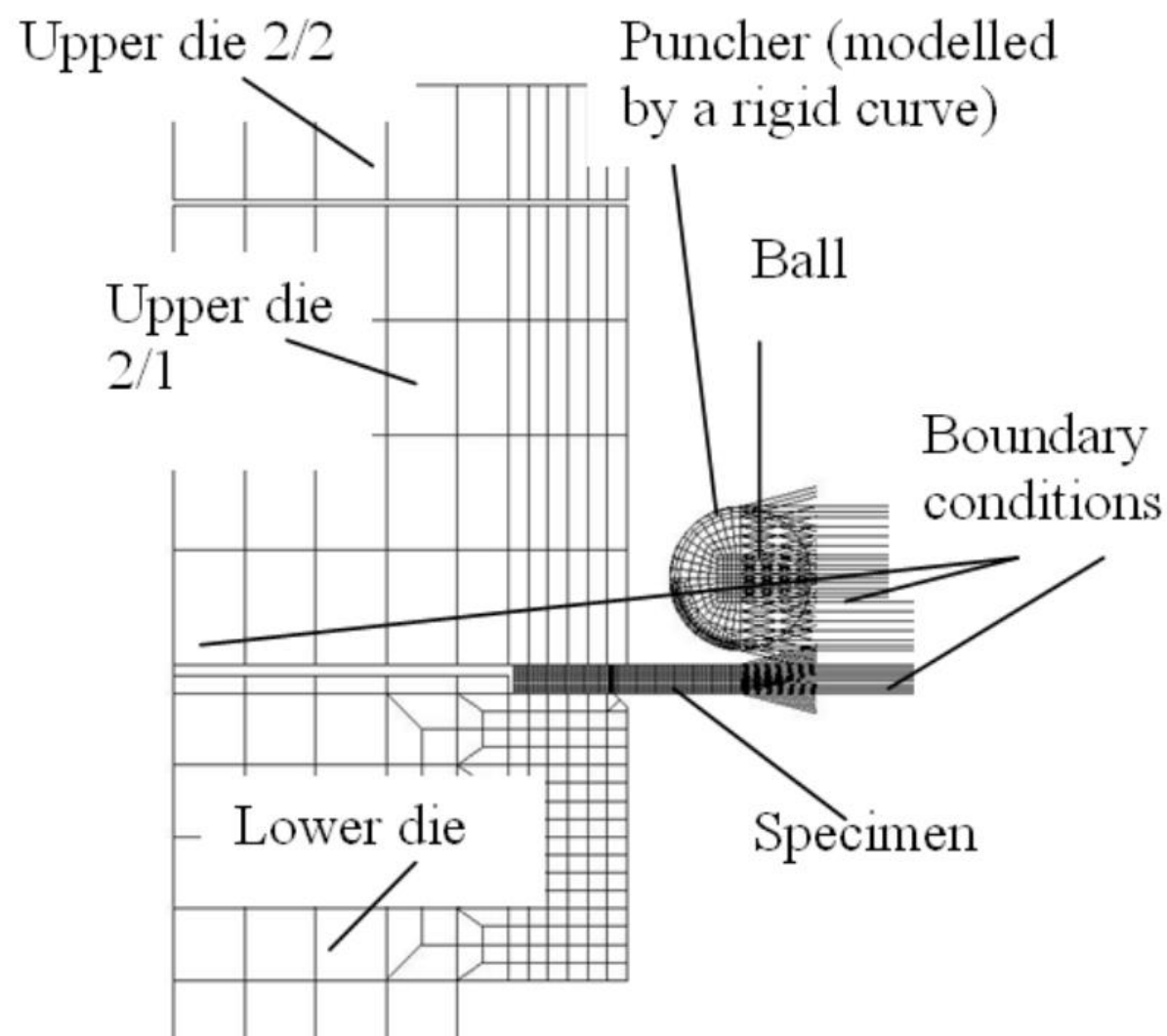
A vizsgálatok információ tartalma

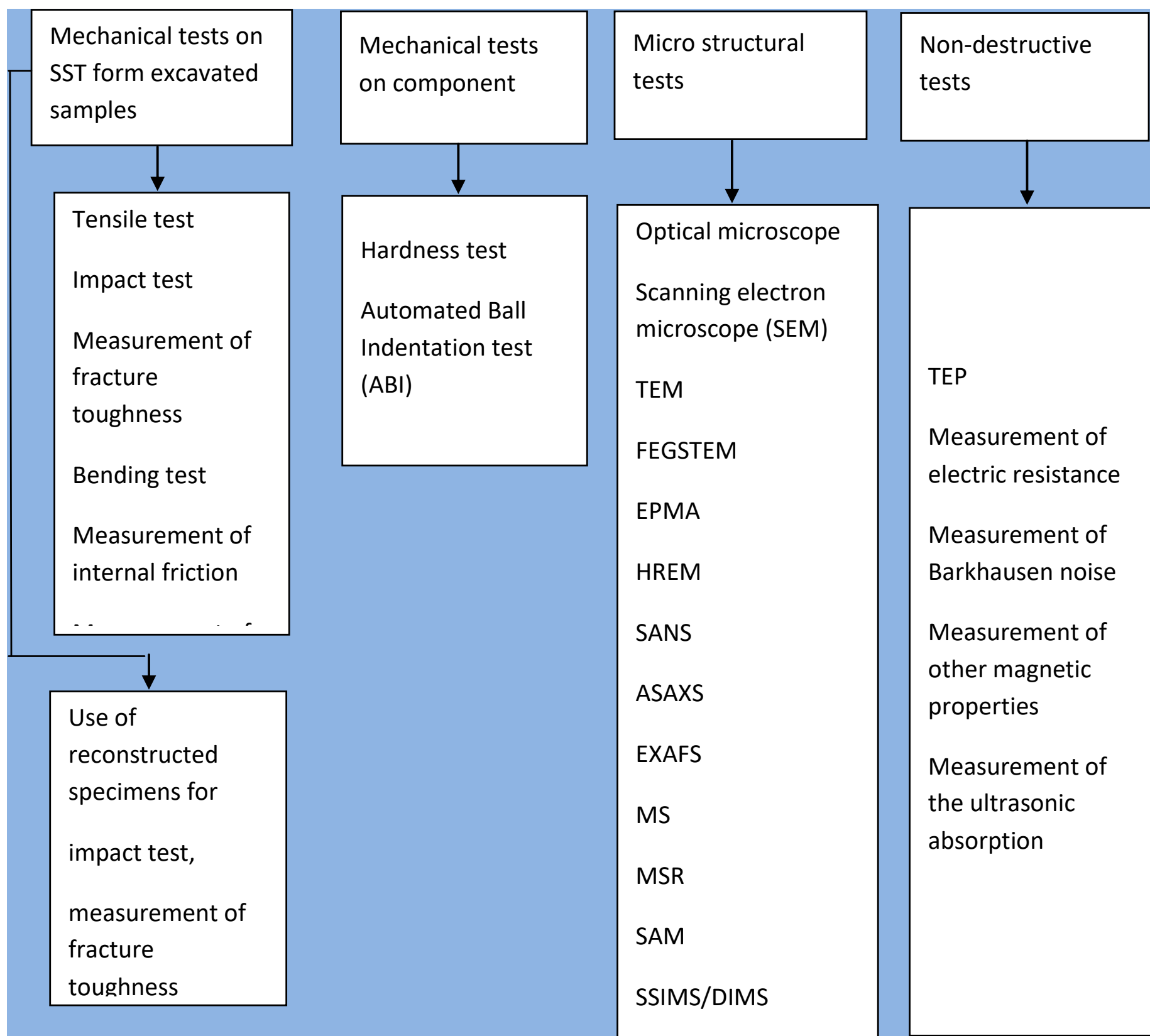
Hagyományos kiértékelési eljárások gyakorta nem alkalmazhatók vagy szabványos úton nem kiértékelhetők, de

numerikus szimulációjával

- egyrészt az egyes vizsgálatok információ tartalma,
- másrészt az eredményekben lévő geometriai hatások

elemezhetők.



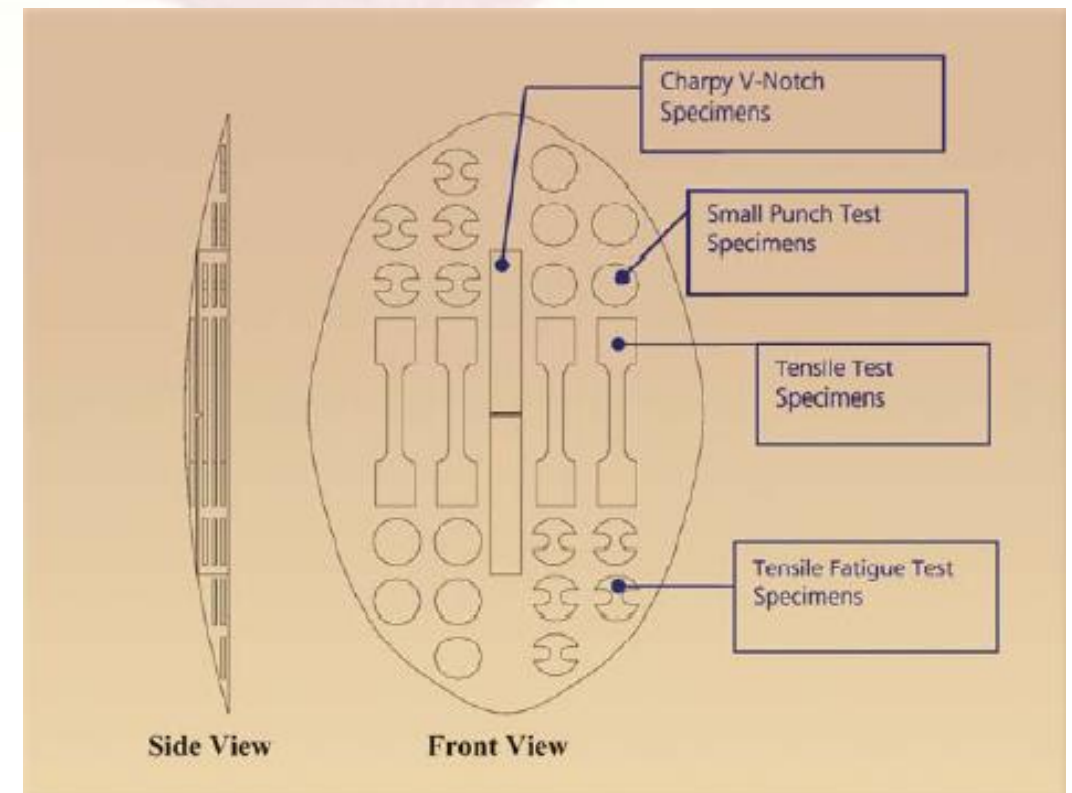


Small Punch vizsgálati módszer

Az 1980-as években fejlesztették ki a Small Punch vizsgálatot.

Jellemzői:

- Mini próbatestes vizsgálat
- Kvázi roncsolás-mentes módszer
- Jelenleg nem szabványos
- Üzemelő szerkezetekből vett próbatestek vizsgálata
- Mintavétel speciális, hordozható készülékkel



Small Punch Teszt

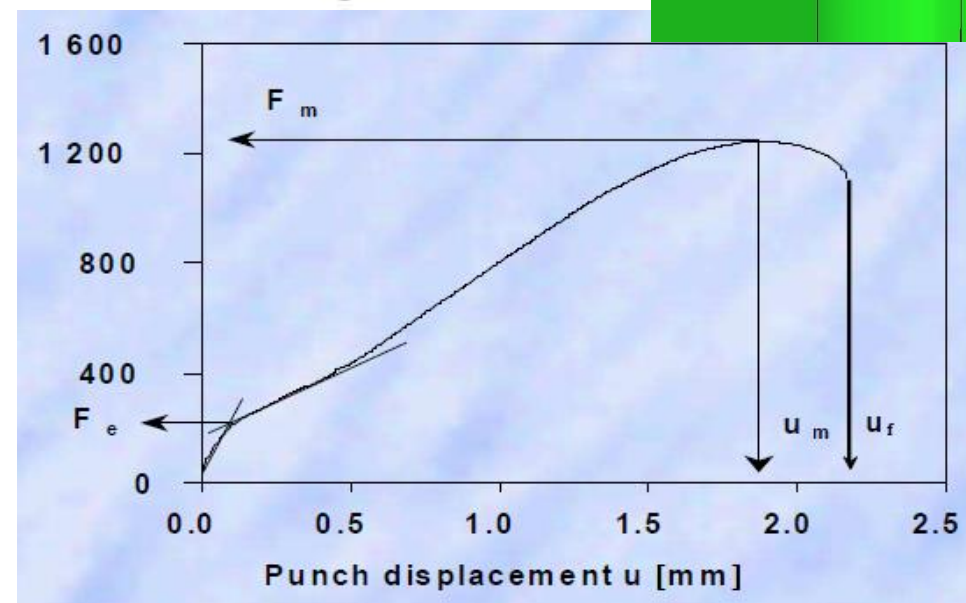
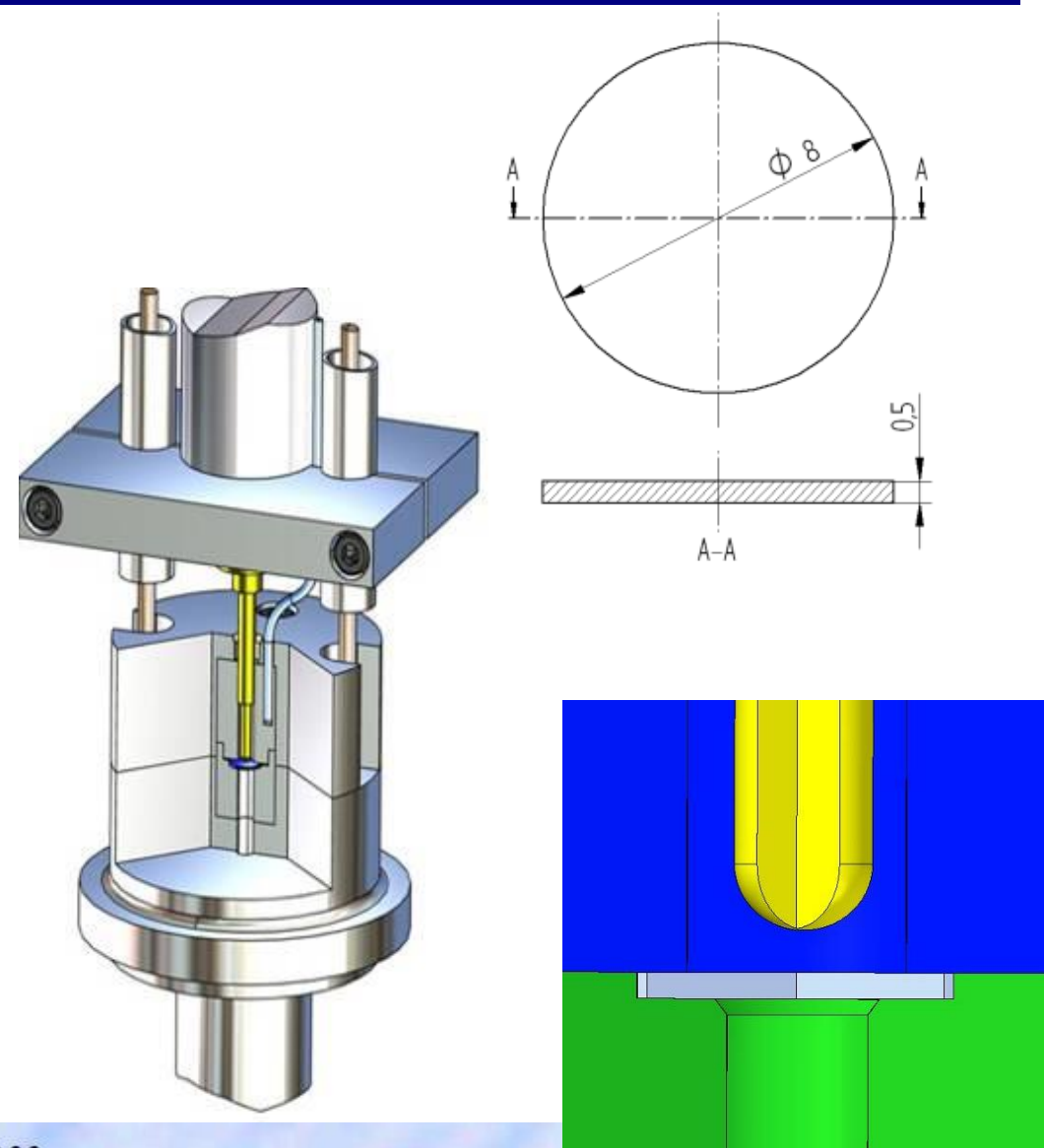
- A Small Punch Test egy eredetileg nukleáris erőművekben használt anyagok vizsgálatára kifejlesztett eljárás.
- Hatékony módszer arra, hogy fontos mechanikai jellemzőket határozzunk meg nagyon kis felhasznált anyagmennyiség mellett.
- Kisméretű vizsgálati darabok kivétele után a javítás elhanyagolható, illetőleg szükségtelen, rövidebb üzemszünet.

Próbatest geometria

- Átmérő: 8 mm,
- Vastagság: $0,5 \text{ mm} \pm 5 \mu\text{m}$,
- Golyó átmérő: 2,5 mm,
- Egyéb geometria is lehetséges.

Small Punch vizsgálati módszer

- A próbatestet a golyóval törésig terhelik;
- Erő-elmozdulás görbe felvétele
→ az anyagjellemzők meghatározhatóak.



Laboratóriumi vizsgálatok

Vizsgált acélminőségek:

- P92 martenzites acél (X10CrWMoVNb9-2), öt féle hőkezeltégi állapot;
- 5*5 próbatest került legyártásra.

Próbatest előállítása:

1. Ø8 mm próbarúd – Szikraforgácsolással szeletelve;
2. Vastagság beállítása polírpapírral készülékben – 0.005mm tűréssel;

Small Punch vizsgálati módszer



Meghatározható anyagi tulajdonságok

- Folyáshatár,
- Szakítószilárdság,
- Kúszási tulajdonságok,
- Kifáradási tulajdonságok,
- Átmeneti hőmérséklet, stb.

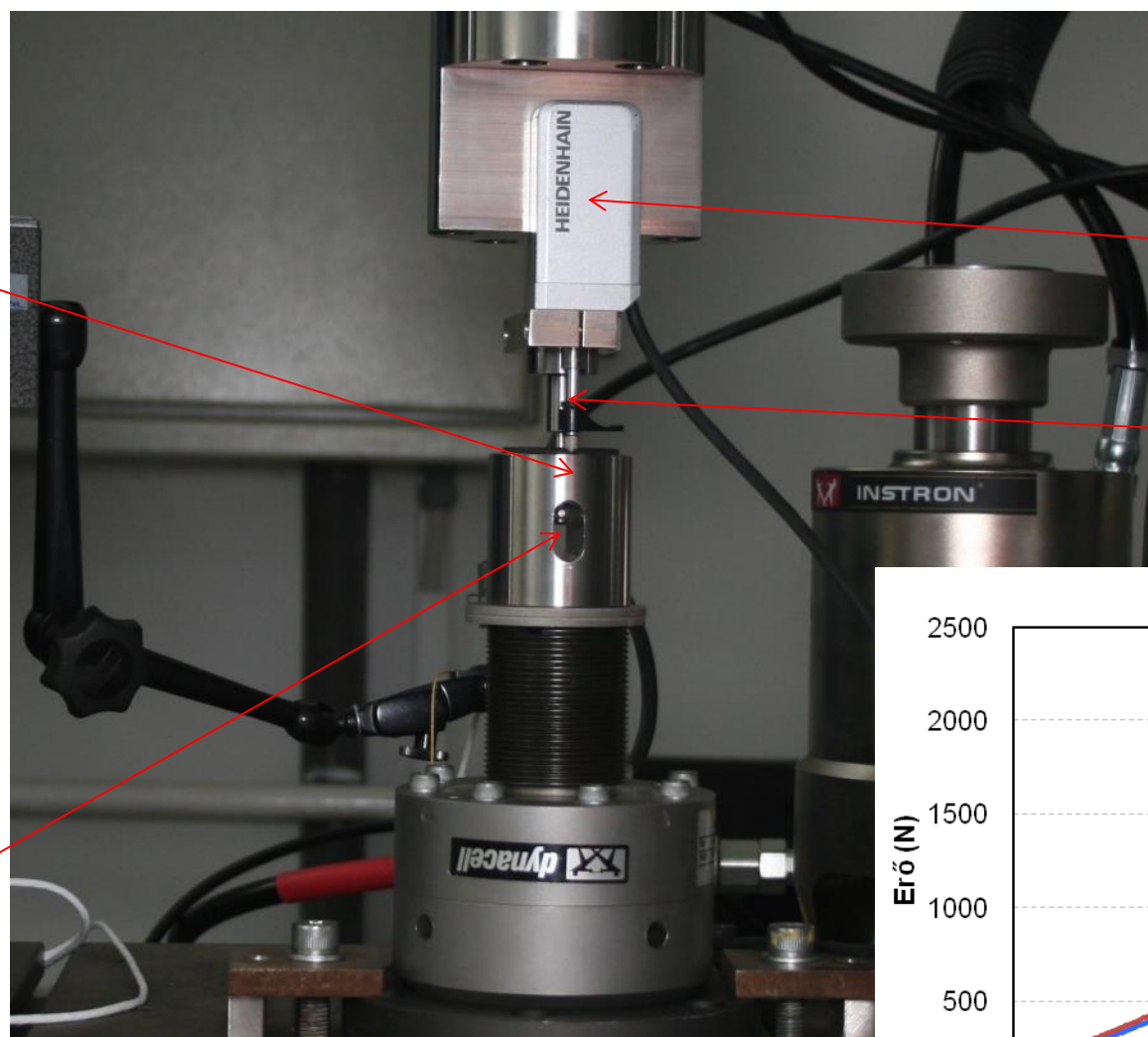


Vizsgáló berendezés

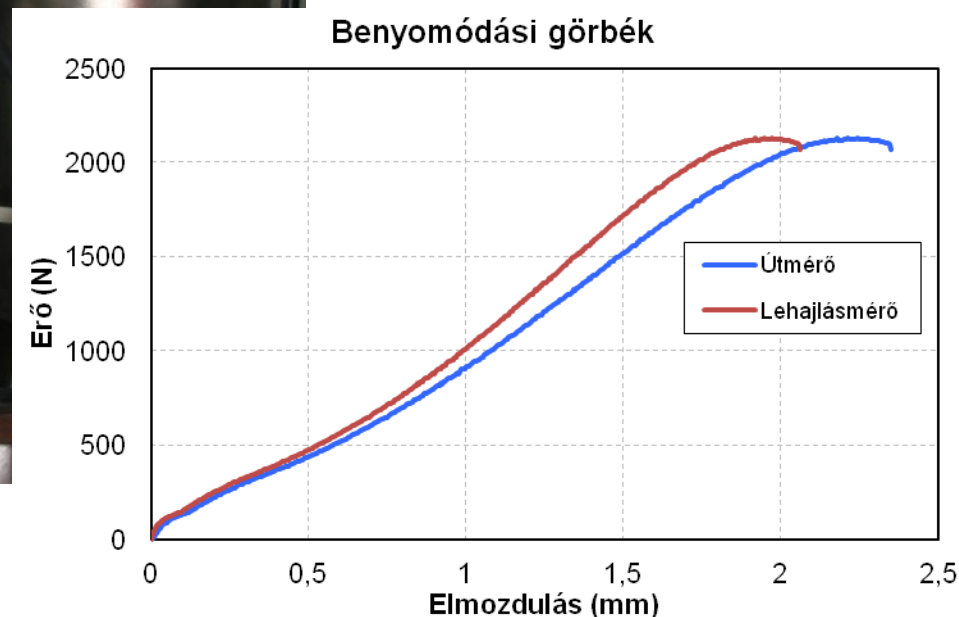
INSTRON 8874 szervo-hidraulikus bi-axiális szakítógépet

Próbatest

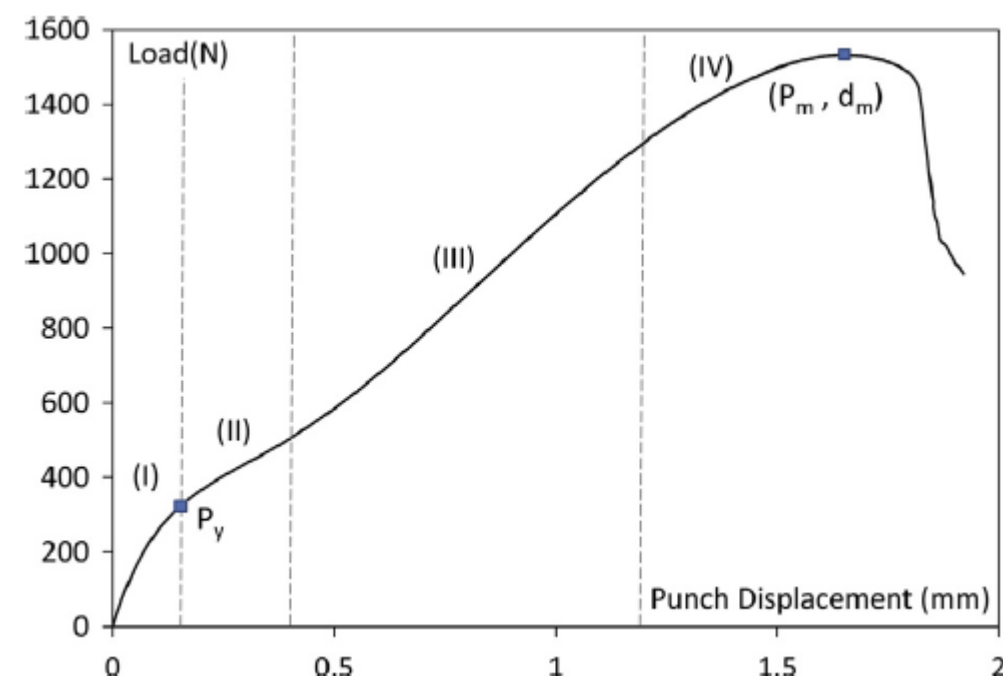
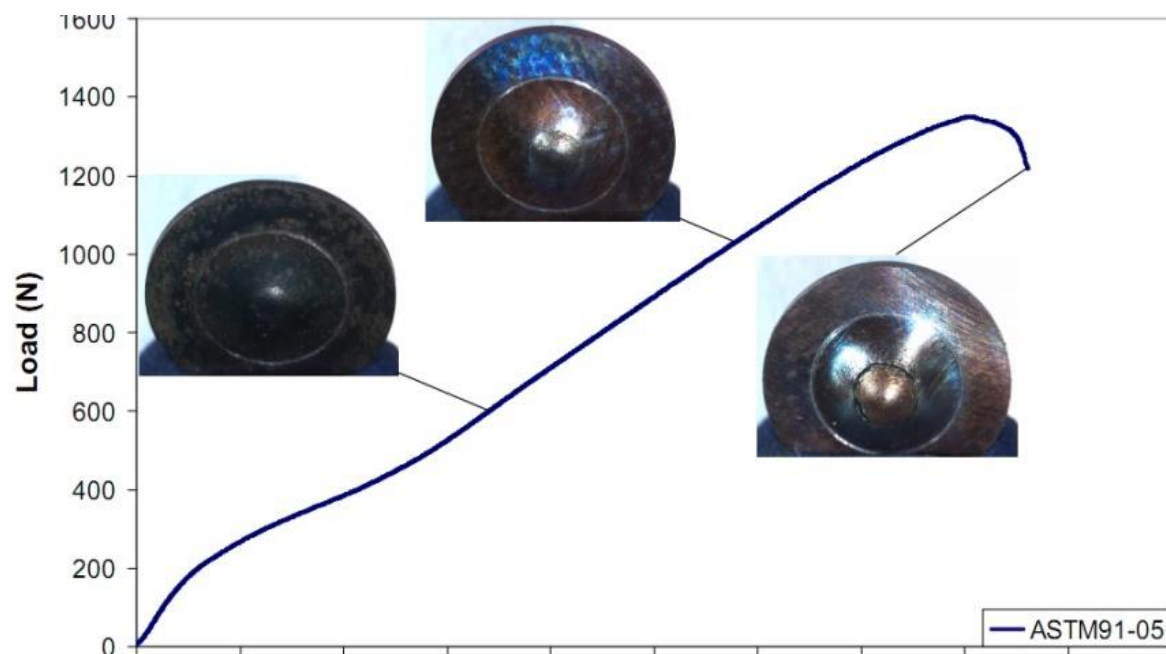
Extensometer



Heidenheim
(0.2 μ m pontosság
12mm hosszon)
Szűrőtüske



Small Punch vizsgálati módszer

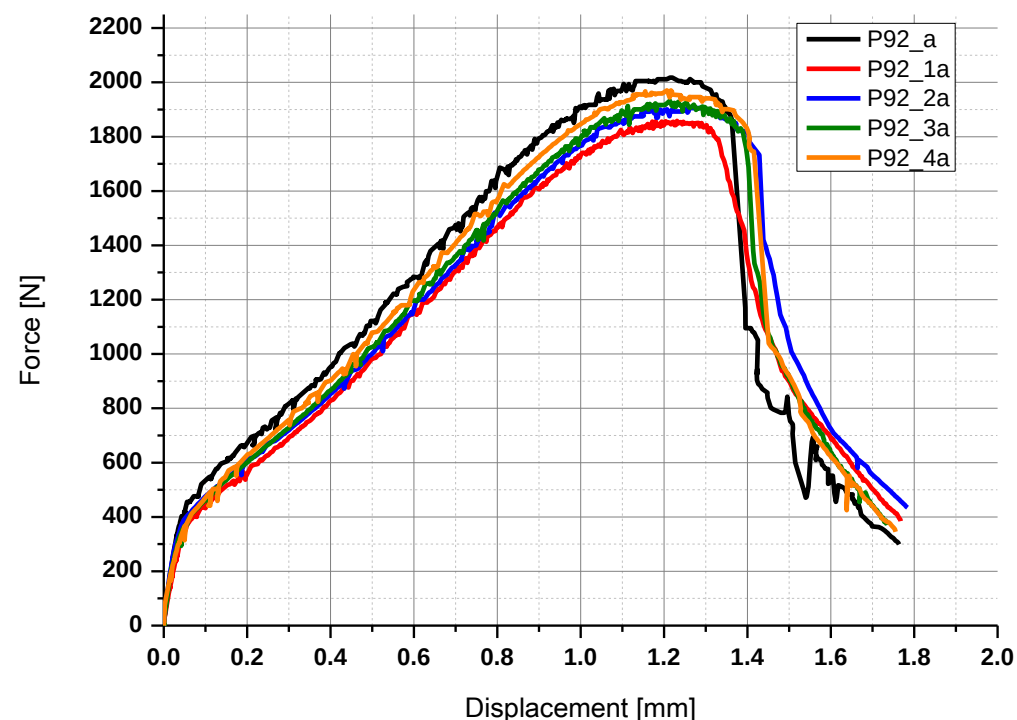


- Komplex alakváltozás;
- Bi-axiális feszültség állapot;
- Súrlódás szerepe;
- Nem szabványos mérés;
- Lineáris kapcsolat a folyáshatár és az I és II zóna határán mérhető erő és a lemezvastagság hányadosa között.

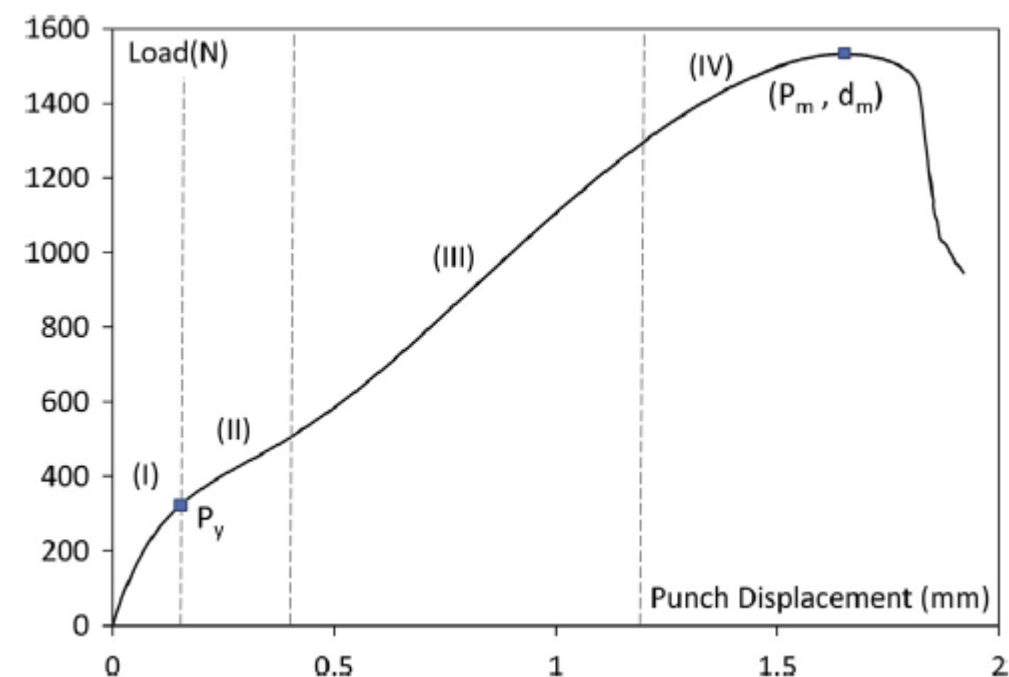


$$\sigma_{ys} = \alpha_1 \frac{P_y}{t^2} + \alpha_2$$

Mérési és számítási eredmények összehasonlítása



**P92 + 4 féle
hőkezeltégi állapot**



**Jellegzetes pontok
megadása**

Adatok kiértékelése

- Mérések és szimulációk
- Folyáshatás meghatározása (két tangens módszer)

	Yield stress from SP [MPa]	Yield stress from FEM [MPa]	Yield stress from tensile test [MPa]
22K	244	245	250
X6CrNiTi 10-18	270	276	305

Befolyásoló tényezők:

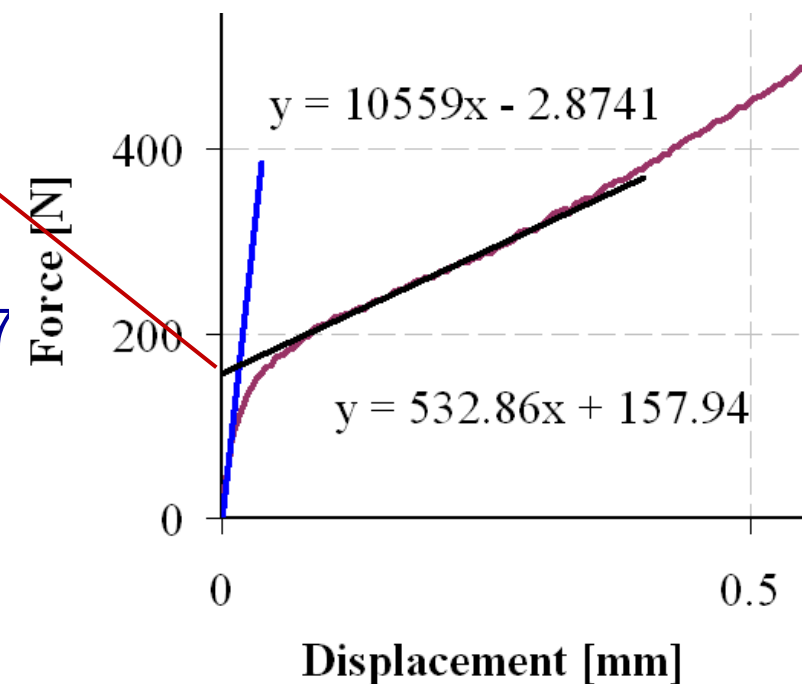
1. Felület minőség,
2. Próbatess vastagság,
3. Súrlódási viszonyok.

$$R_{p0.2} = \alpha \frac{P_y}{h_0^2}$$

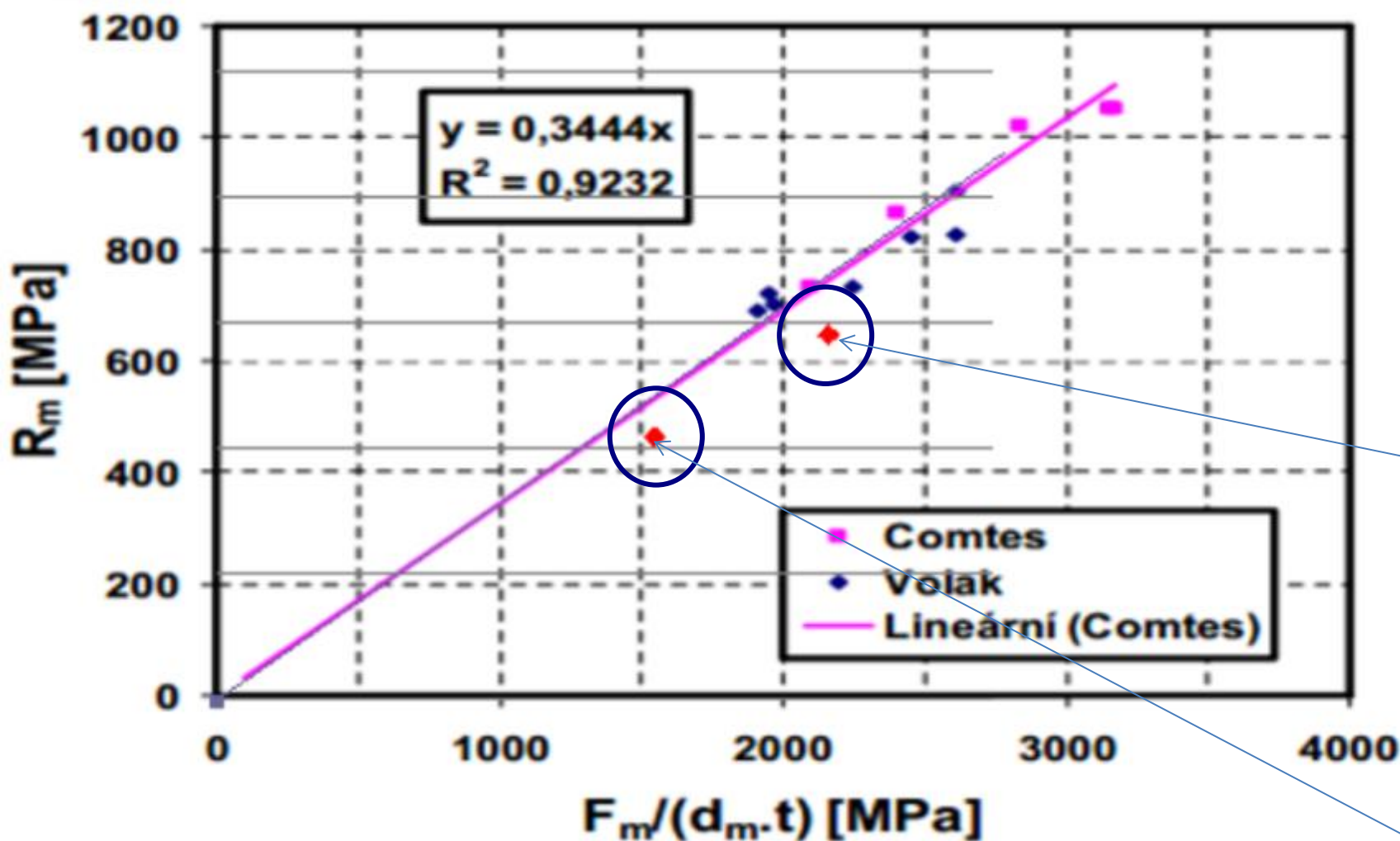
$$\alpha (\text{X6CrNiTi 10-18}) = 0.477$$

$$\alpha (22\text{K}) = 0.36$$

$$R_m = 0.3 \frac{P_{\max}}{d_{\max} h_0}$$



Adatok kiértékelése



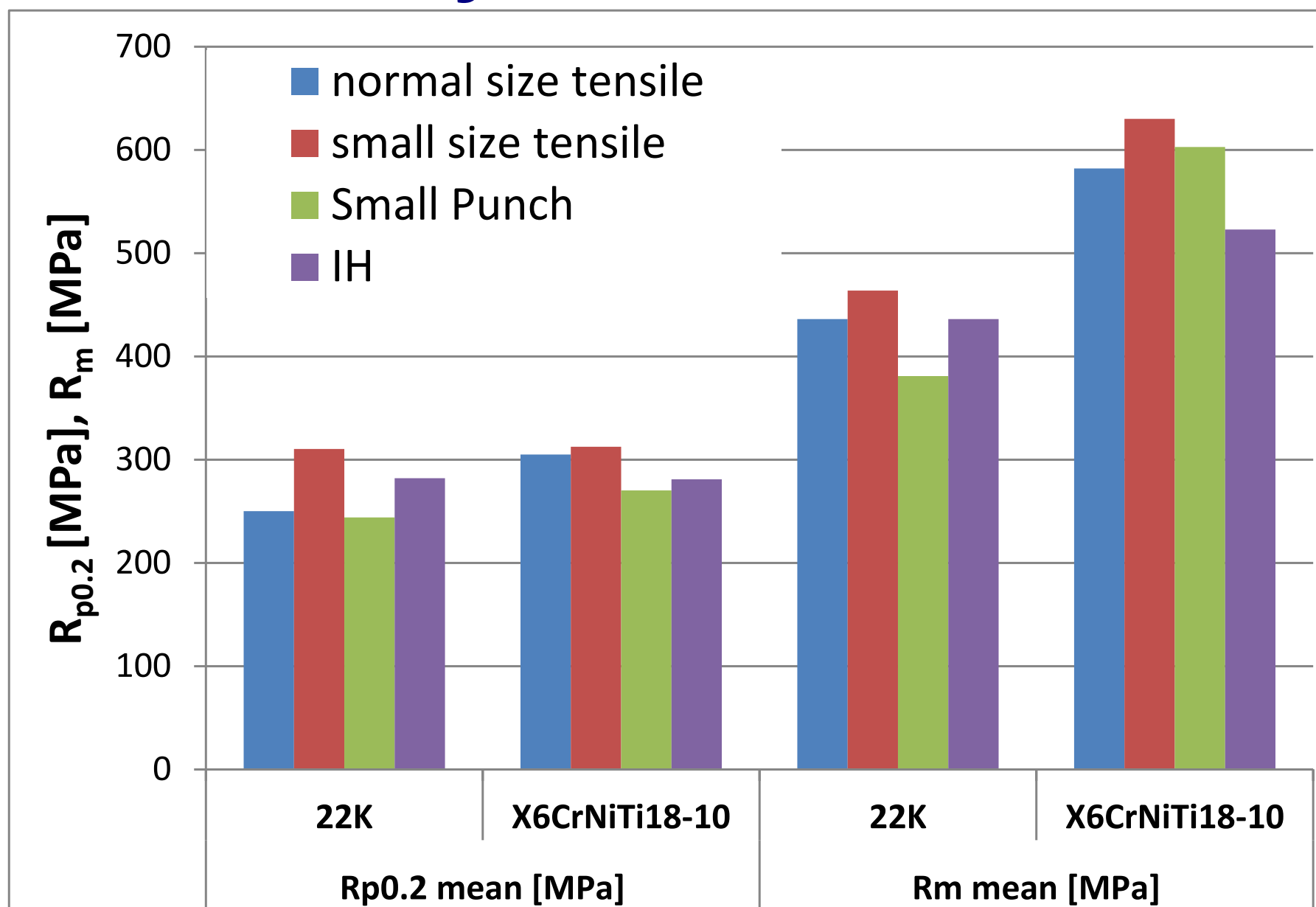
- Szakítószilárdság
- Irodalmi adatok alapján

X6CrNiTi18-10

22K

P. Konopík, J. Dzigan - *Small Punch Test Application to Fracture Toughness Determination in the Upper Shelf Region*

Eredmények összehasonlítása

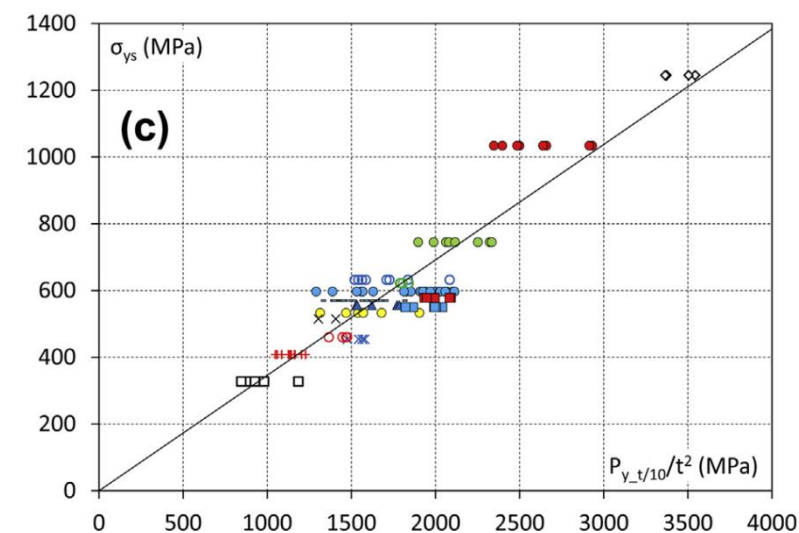
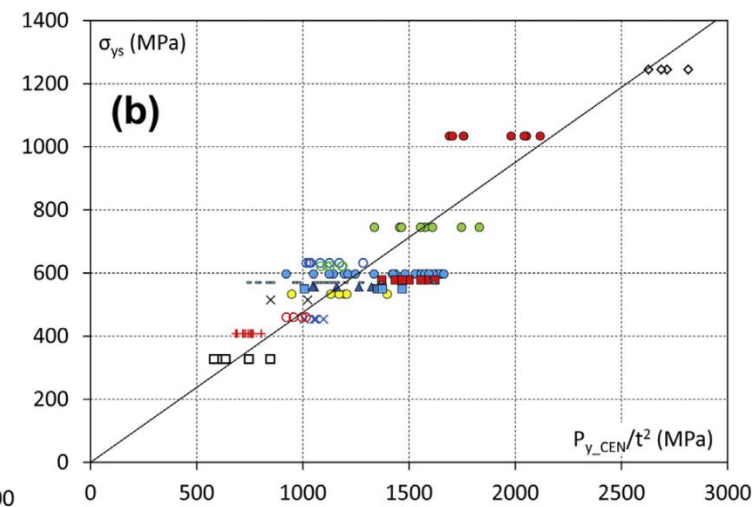
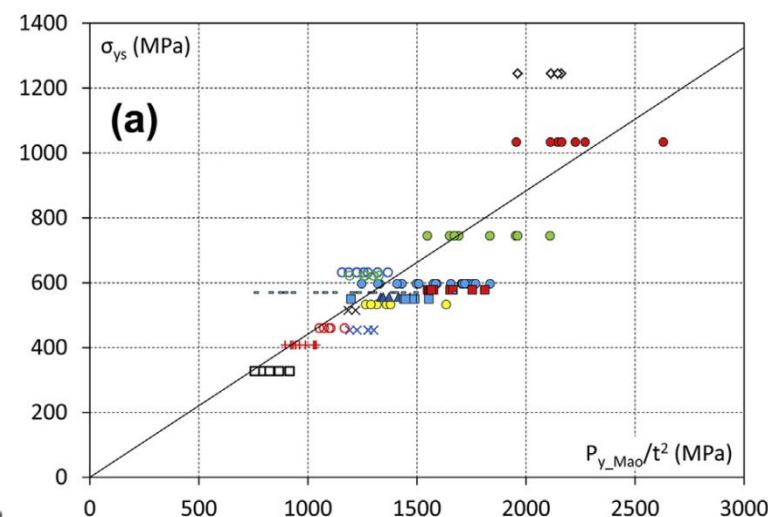
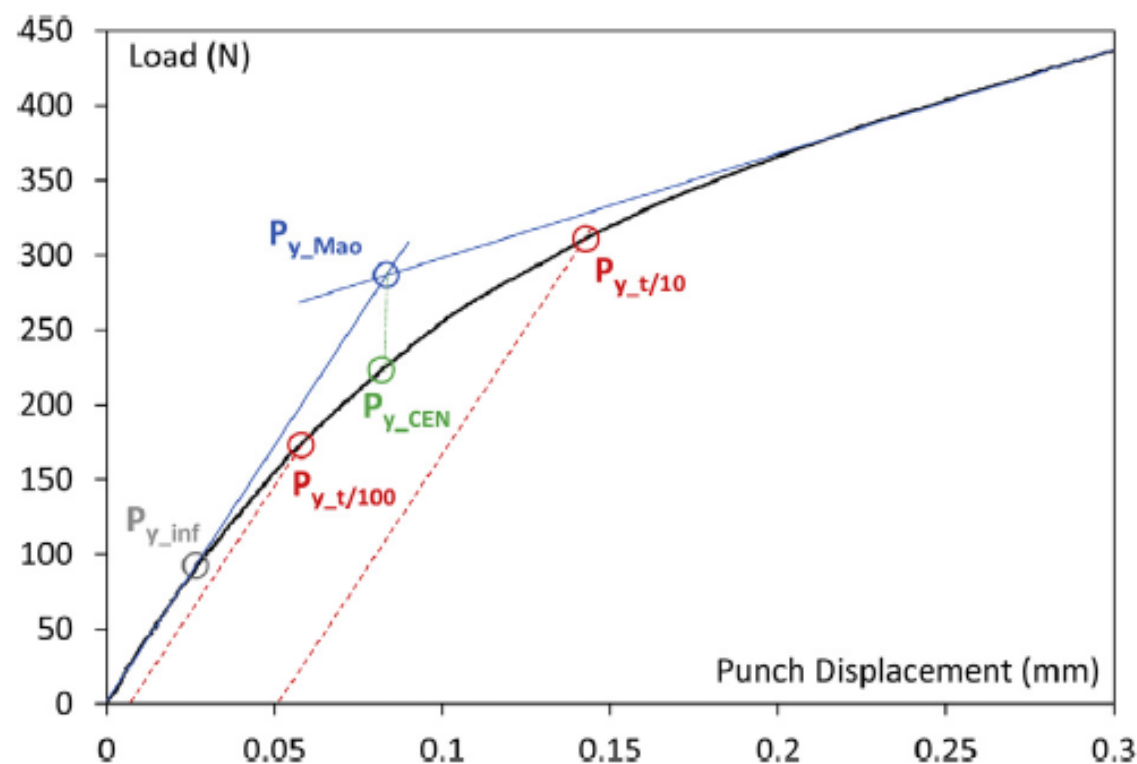


Módszerek a folyáshatár meghatározására

$$\sigma_{ys} = 0.346 \frac{P_{y_t/10}}{t^2} \quad (R^2 = 0.922)$$

$$\sigma_{ys} = 0.442 \frac{P_{y_Mao}}{t^2} \quad (R^2 = 0.772)$$

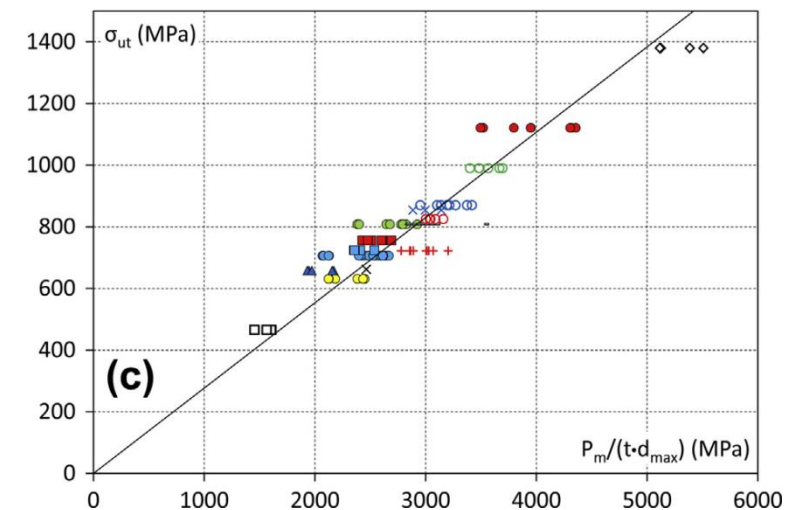
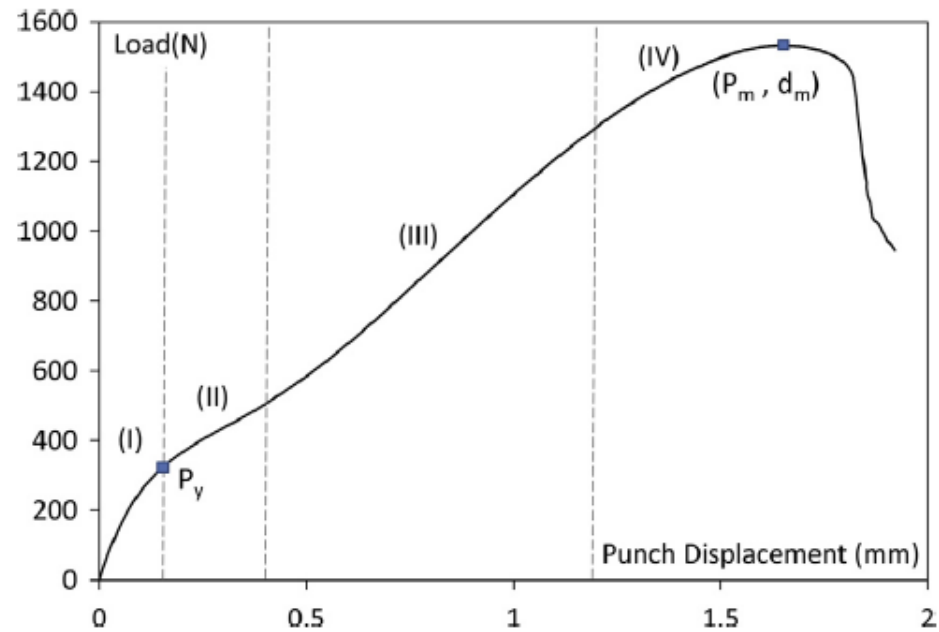
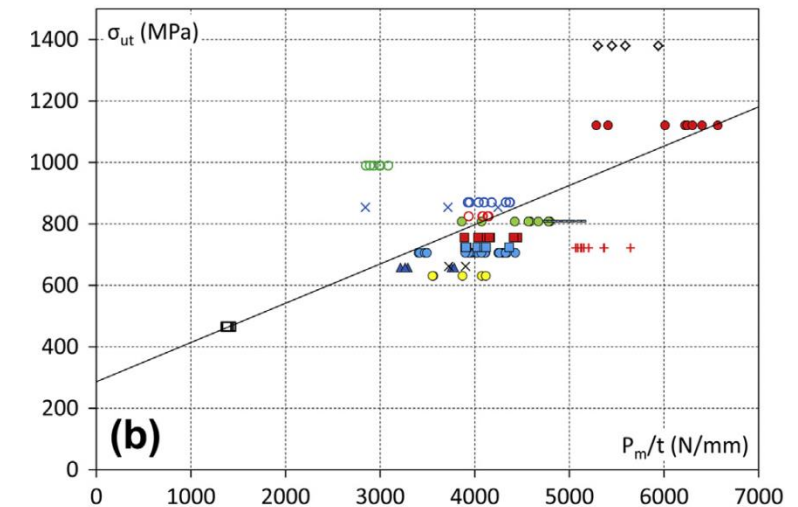
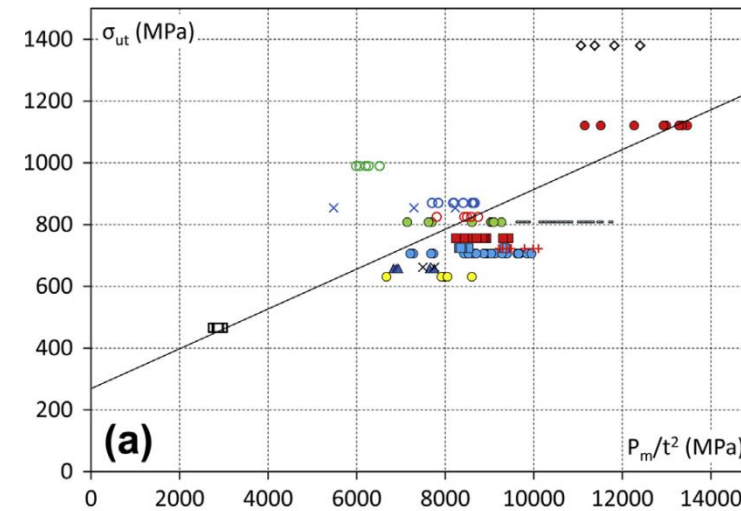
$$\sigma_{ys} = 0.476 \frac{P_{y_CEN}}{t^2} \quad (R^2 = 0.889)$$

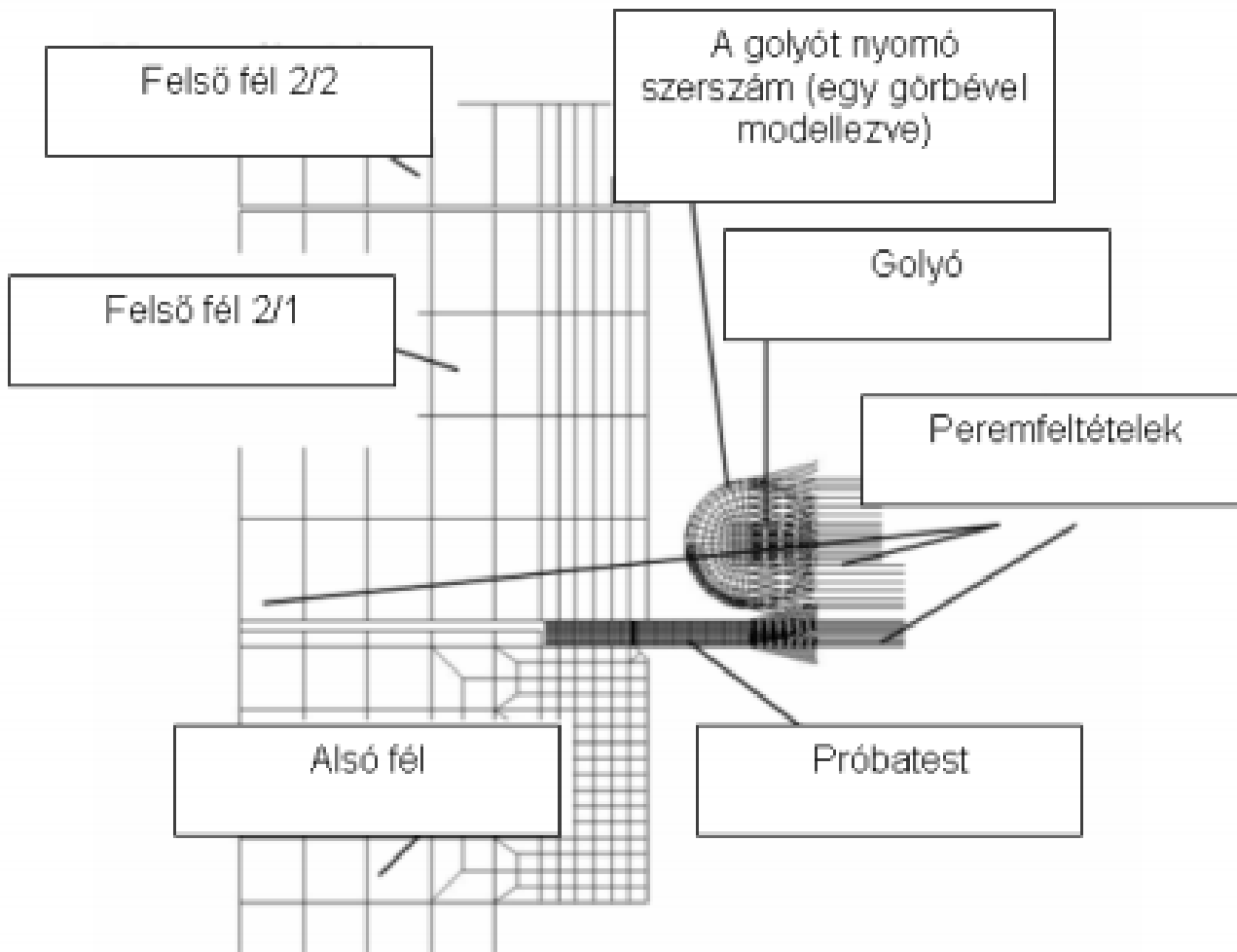


$$\sigma_{ut} = 0.065 \cdot \frac{P_m}{t^2} + 268.81 \quad (R^2 = 0.456)$$

$$\sigma_{ut} = 0.129 \cdot \frac{P_m}{t^2} + 286.7 \quad (R^2 = 0.422)$$

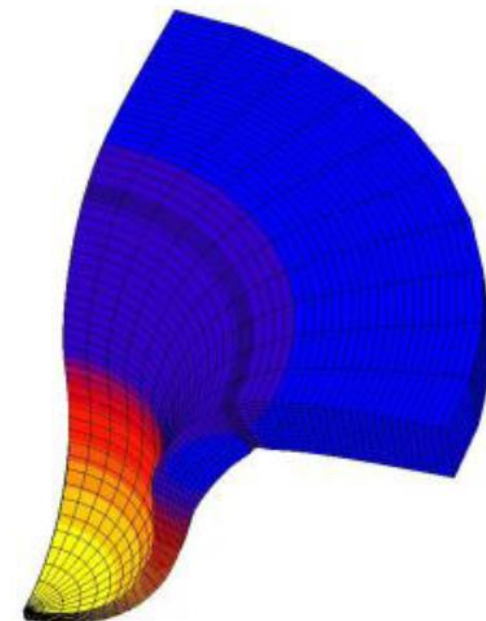
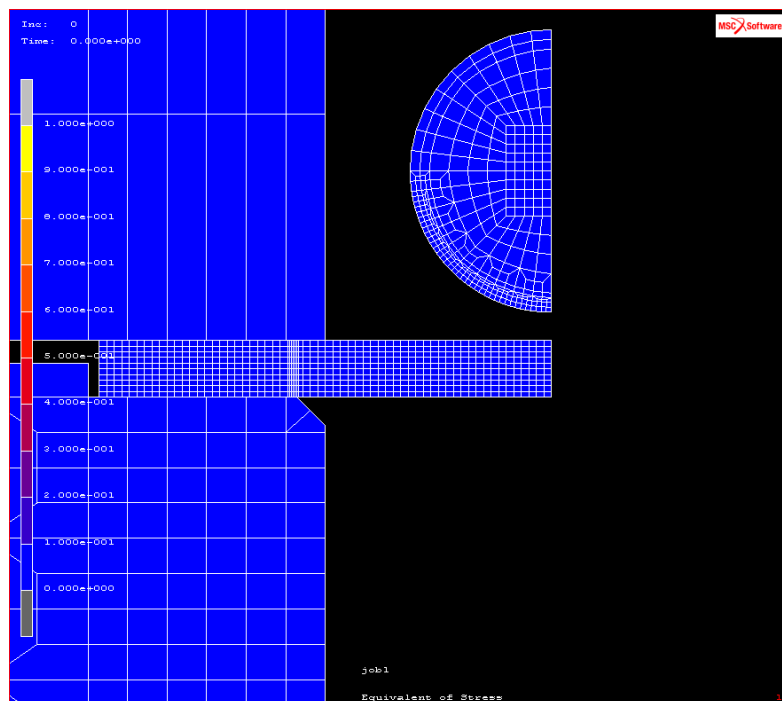
$$\sigma_{ut} = 0.277 \cdot \frac{P_m}{d_m \cdot t} \quad (R^2 = 0.940)$$



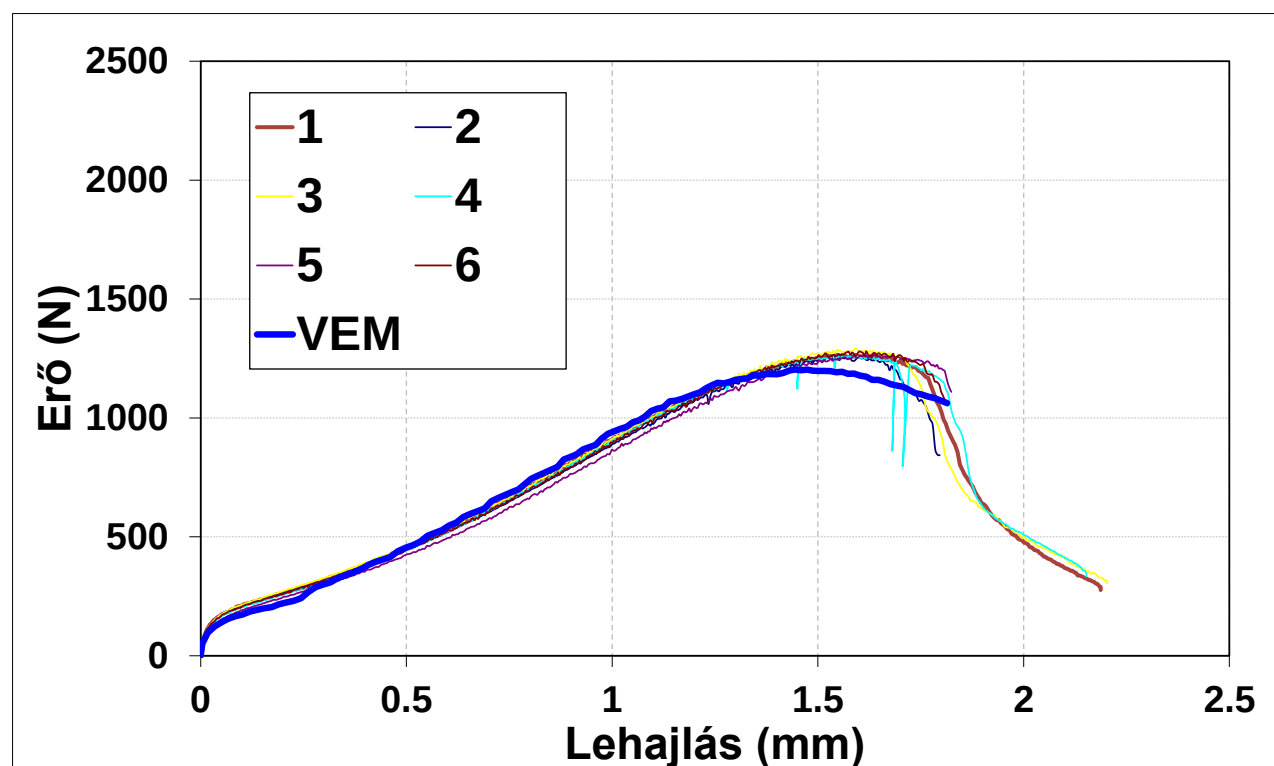


Végeselem modell

- 1213 db 4 csomópontú elem;
- Hálósűrítés;
- Tengelyszimmetrikus feladat;
- Próbatest: 600 elem;
- Próbadarab vastagság ($h_0 = 0,5 \text{ mm}$);
- Próbadarab átmérő ($DP = 8,0 \text{ mm}$);
- Alsó félszerszám belső átmérő ($d_h = 4,0 \text{ mm}$);
- Golyó átmérő ($D = 2,5 \text{ mm}$);
- Leszorító erő ($F_A = 500 \text{ N}$);
- Coulomb-súrlódási modell, ($\mu = 0,25-0,50$);
- Anyagmodell: lin. rugalmas - képlékeny (izotróp, keményedő)
- Rug. modulusz: $E=200\text{GPa}$; Poisson tényező: $\nu=0.3$;

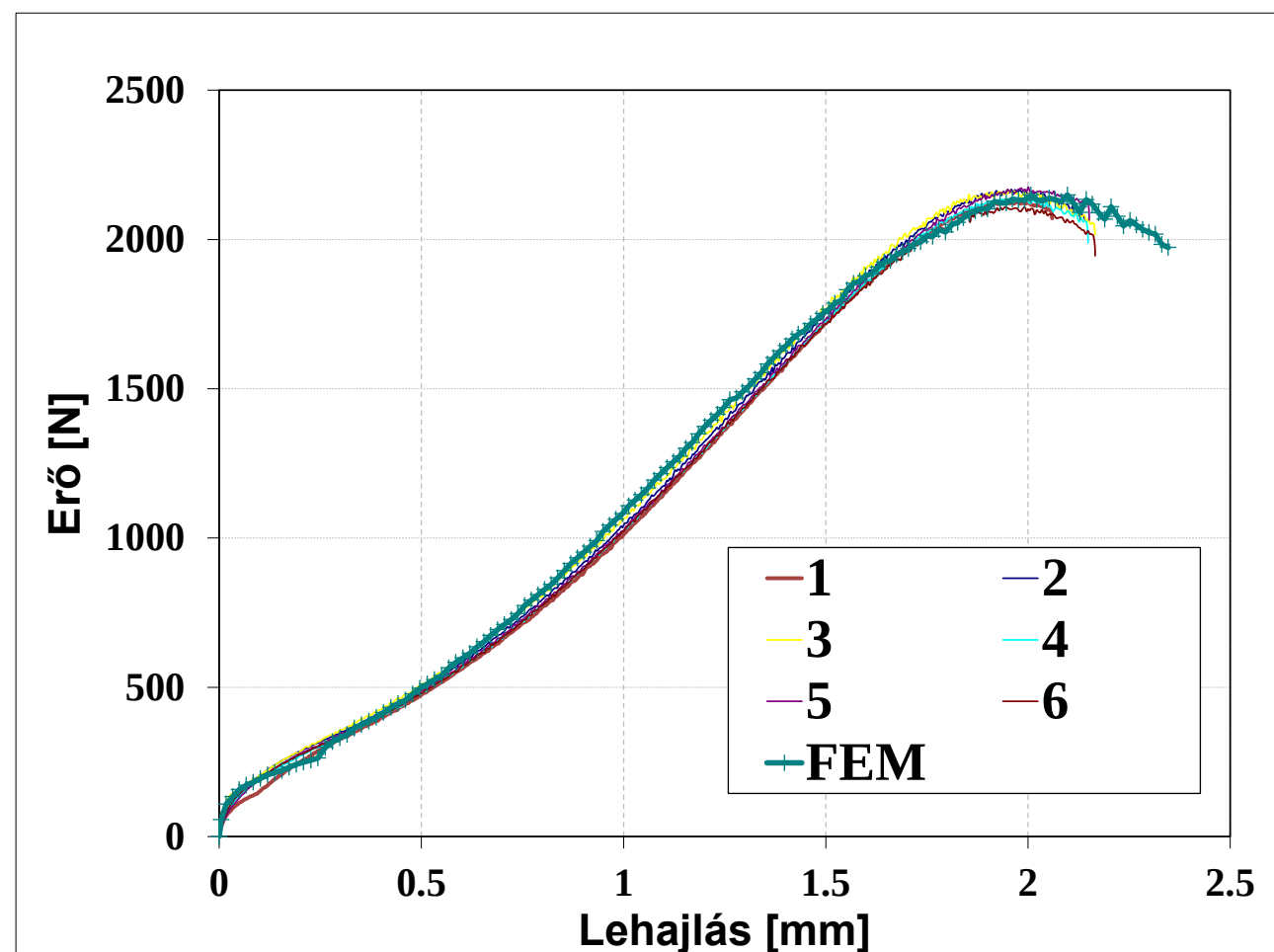


Mérési és számítási eredmények összehasonlítása

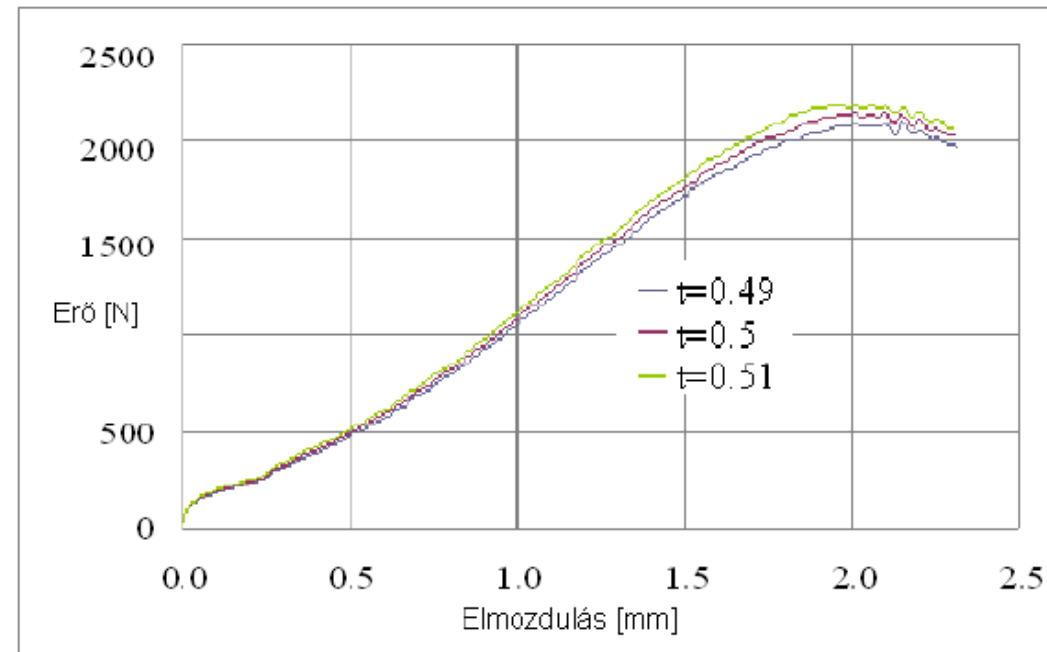
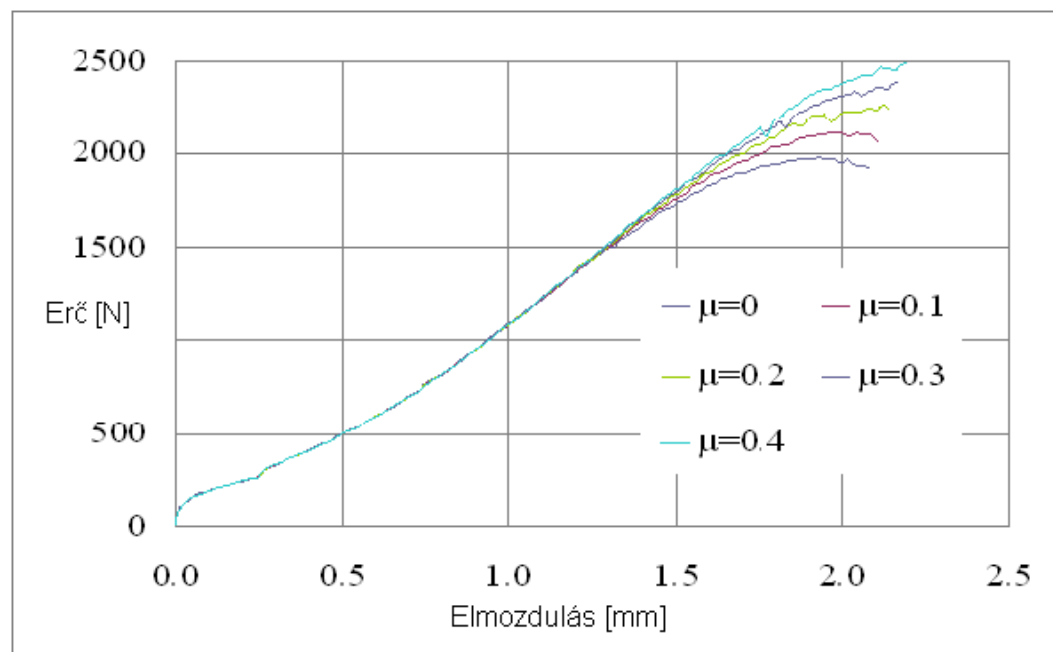


22K

X6CrNiTi18-10

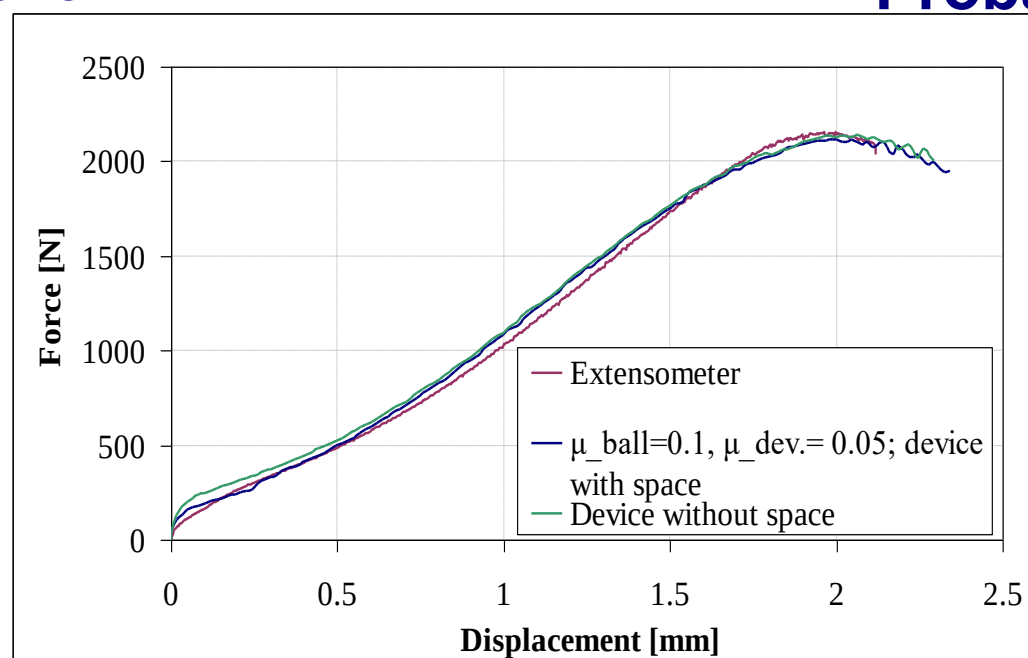


Befolyásoló tényezők hatása



Súrlódási tényező

Próbatest vastagság



Effect of the gap in the loading frame

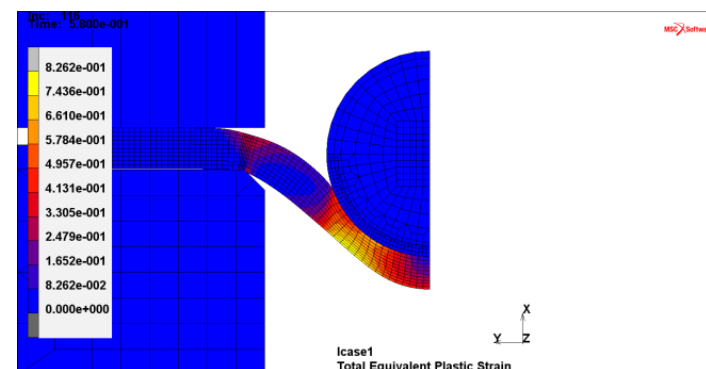
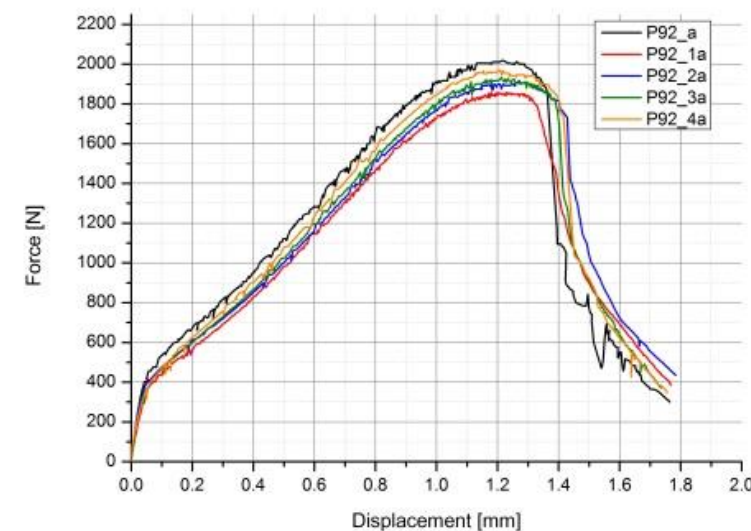
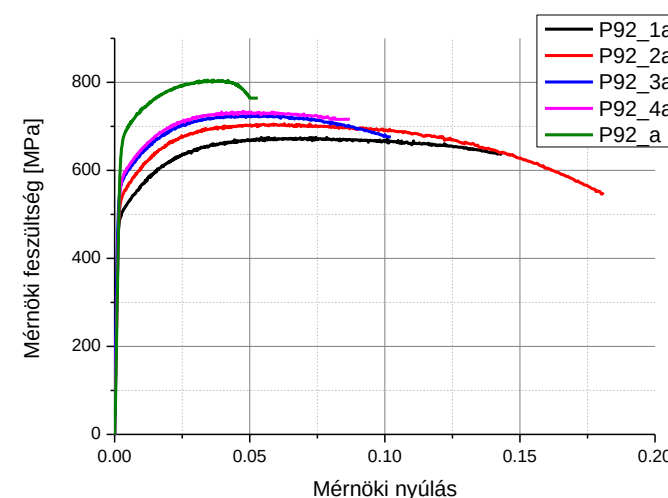
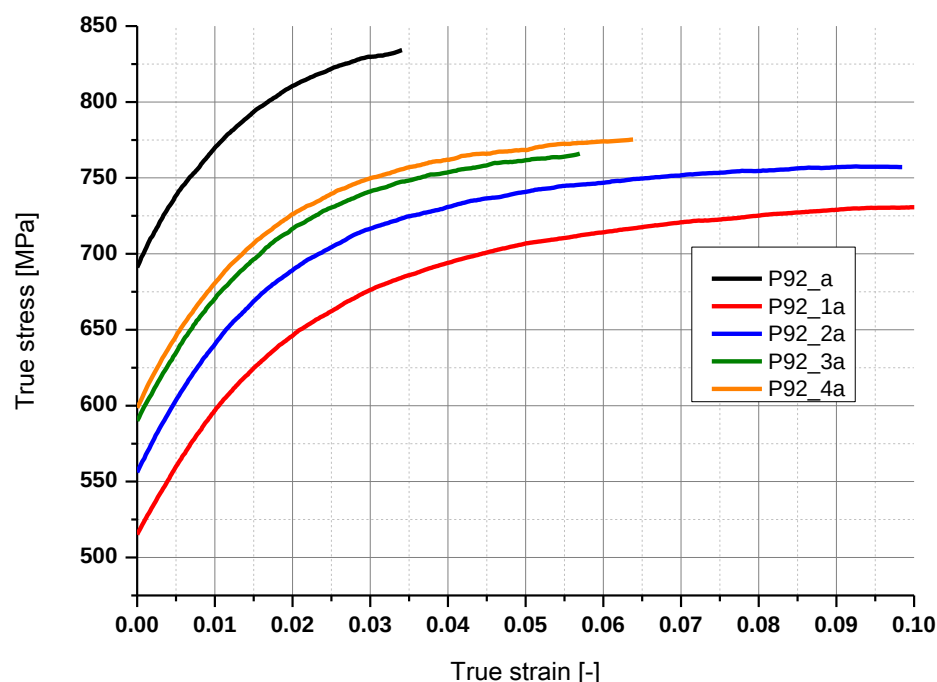
Iterációs feladat megoldása Marc&Maple

Rendelkezésre állnak:

- Szakító vizsgálati eredmények (mindegyik hőkezeltégi állapotra);
- SP teszt vizsgálati eredmények;
- A próbatest és a szerszám geometriai adatok, a mérési paraméterek;
- SP teszt VE modellje;

Képlékeny anyagjellemzők (kezedeti paraméterek) meghatározása:

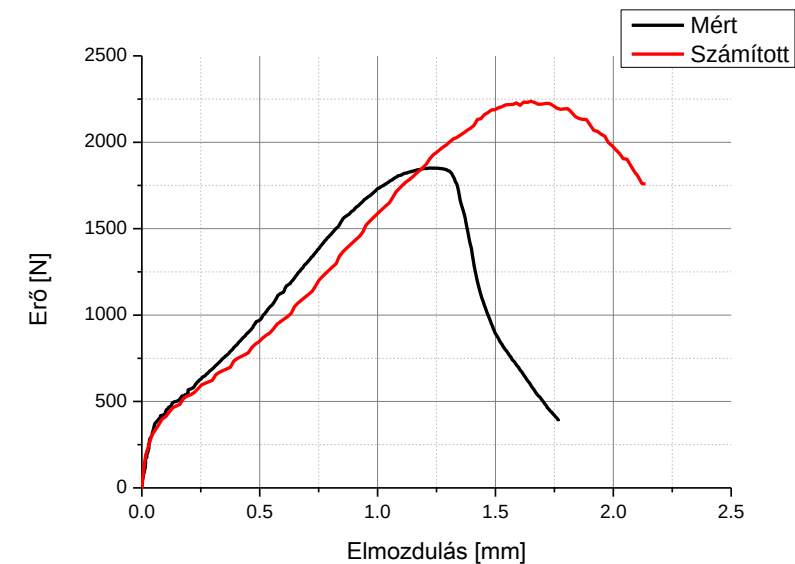
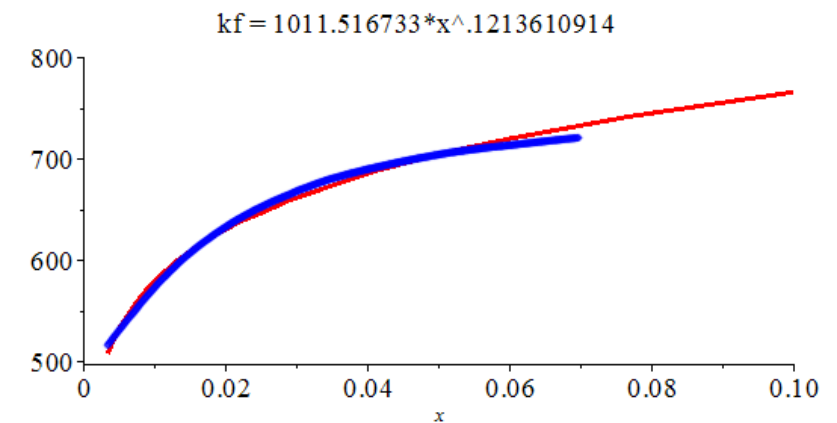
- Hengeres szakítóvizsgálatból
- Valódi feszültség – valódi képlékeny nyúlás görbék



Iterációs feladat megoldása Marc&Maple

Maple szoftver - iterációs folyamat:

1. Kezdeti értékek megadása: rugalmas képlékeny anyagjellemzők (E, alakítási szilárdság fv.);
2. Szakító vizsgálati eredmények valódi feszültség – valódi képlékeny nyúlás adatokra hatványfüggvény illesztése;
3. Az alakítási szilárdság fv. együttható és kitevő megadása, ezek jelentik az anyagjellemzők kezdeti értékét is;
4. VE szimuláció indítása Maple 16 szoftverből;
5. Erő – elmozdulás diagram adatok listázása a SP teszt szimuláció eredményeiből;
6. Kiértékelés: mért és számított erő – elmozdulás diagramok összehasonlítása (eltérés minimalizálása a görbe előre definiált szakaszán, megengedett: 5%);
7. A feltétel nem teljesülése esetén: alakítási szilárdság egyenlet módosítása, anyag konstansok megváltoztatása;
8. A VE szimuláció újra futtatása a megváltozott anyag paraméterek figyelembe vételével;
9. Ha a feltétel teljesül iteráció lezárása, az eredmények mentése.



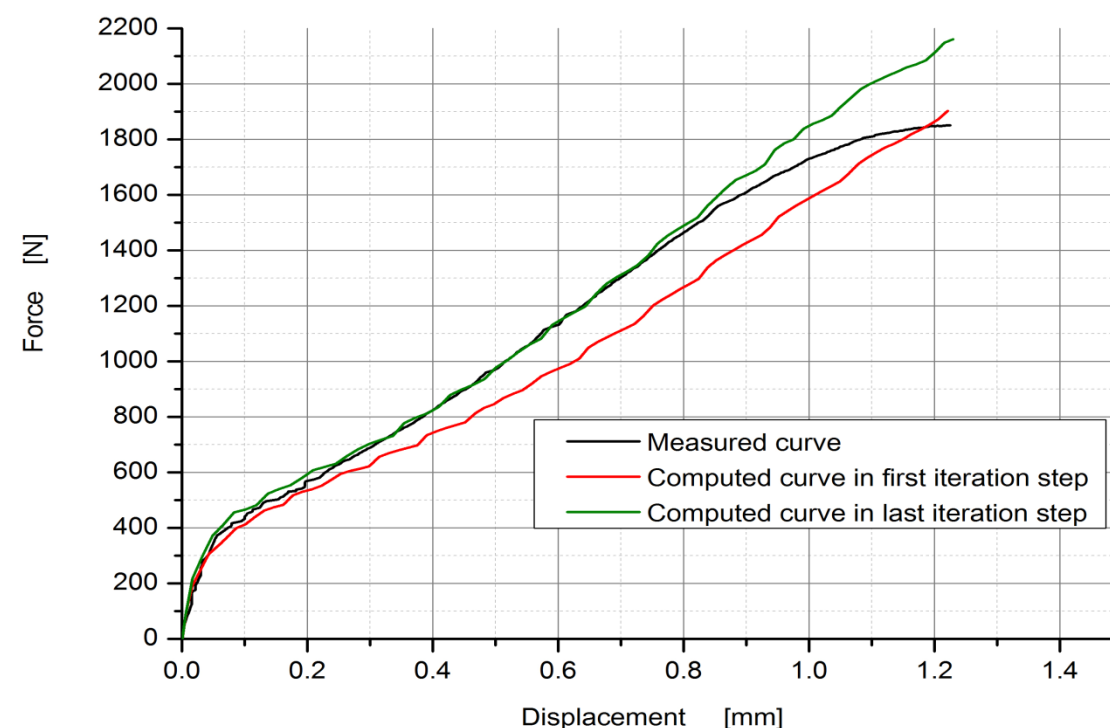
Adatok kiértékelése

Mérések és szimulációk;

- Folyáshatás meghatározása (SP_módszerek: Mao, CEN, t/10)

$$\text{SP módszer: } \rightarrow \sigma_y = \alpha \frac{P_y}{t_0^2}$$

P92_a	YS [MPa]	Rel. Error Uniax_Tens _YS vs. SP_methode _YS [%]	Rel. Error Uniax_Tens _YS vs. FEM_YS [%]	Rel. Error SP_methode _YS vs. FEM_YS [%]
Uniax. Tensile	514	-	-	-
FE _{SP}	569	-	9.64	-
Py_MAO	658	21.79	-	13.45
Py_CEN	583	11.72	-	2.29
Py_t/10	605	14.96	-	5.88



A szimulációs eredmények kiértékelése:

- Iteráció eredménye: számított és mért görbe összehasonlítása;
- A görbék kezdeti szakasza jó egyezést mutat;
- Görbe szakasz vizsgálata a maximális erőnél, súrlódási tényező módosításának lehetősége;
- Geometria ellenőrzése mérési és számítási eredmények összehasonlítása.

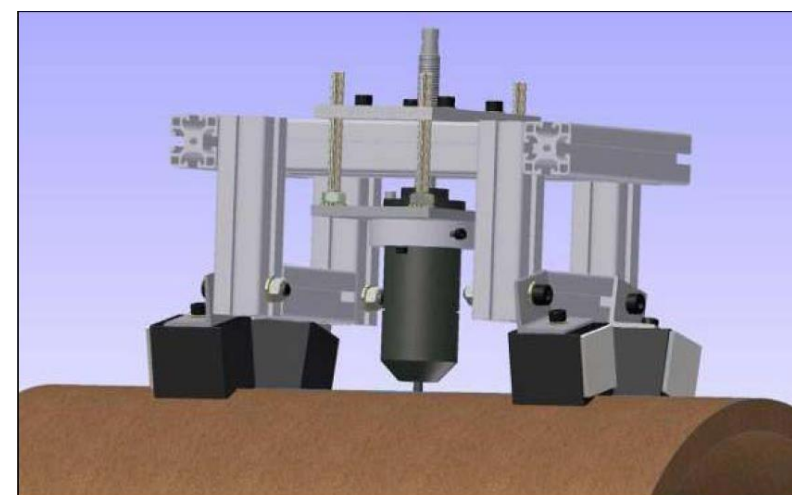
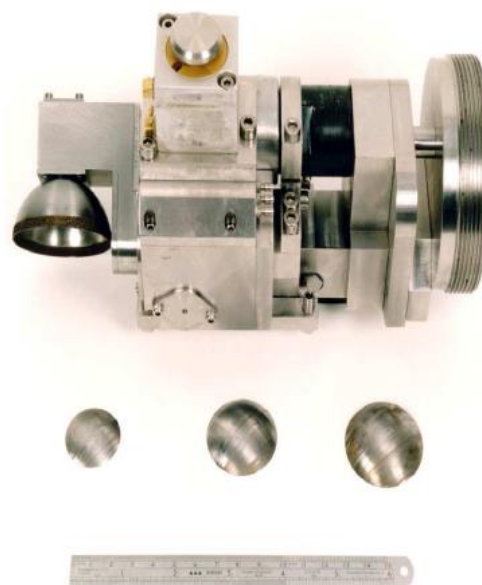
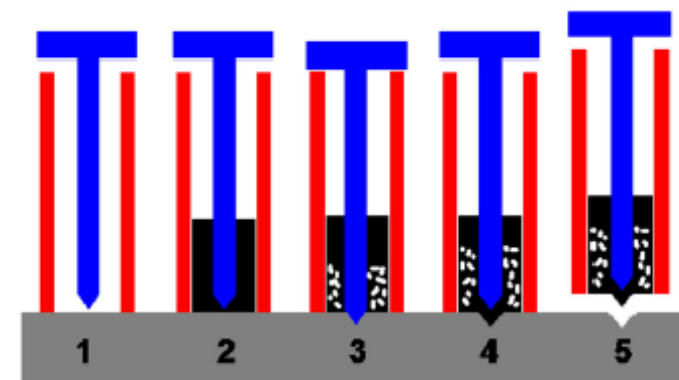
Befolyásoló tényezők:

- Felület minőség,
- Próbatest vastagság,
- Súrlódási viszonyok.

Mintavétel

Szerkezetek öregedésének vizsgálata és állapotuk felügyelete megköveteli az aktuális anyagjellemzők ismeretét.

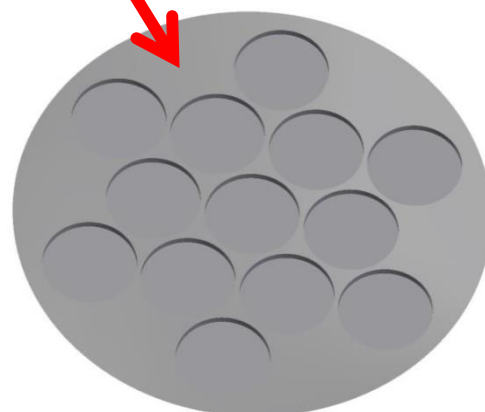
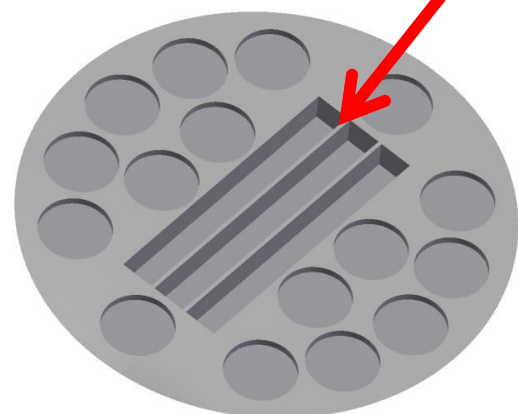
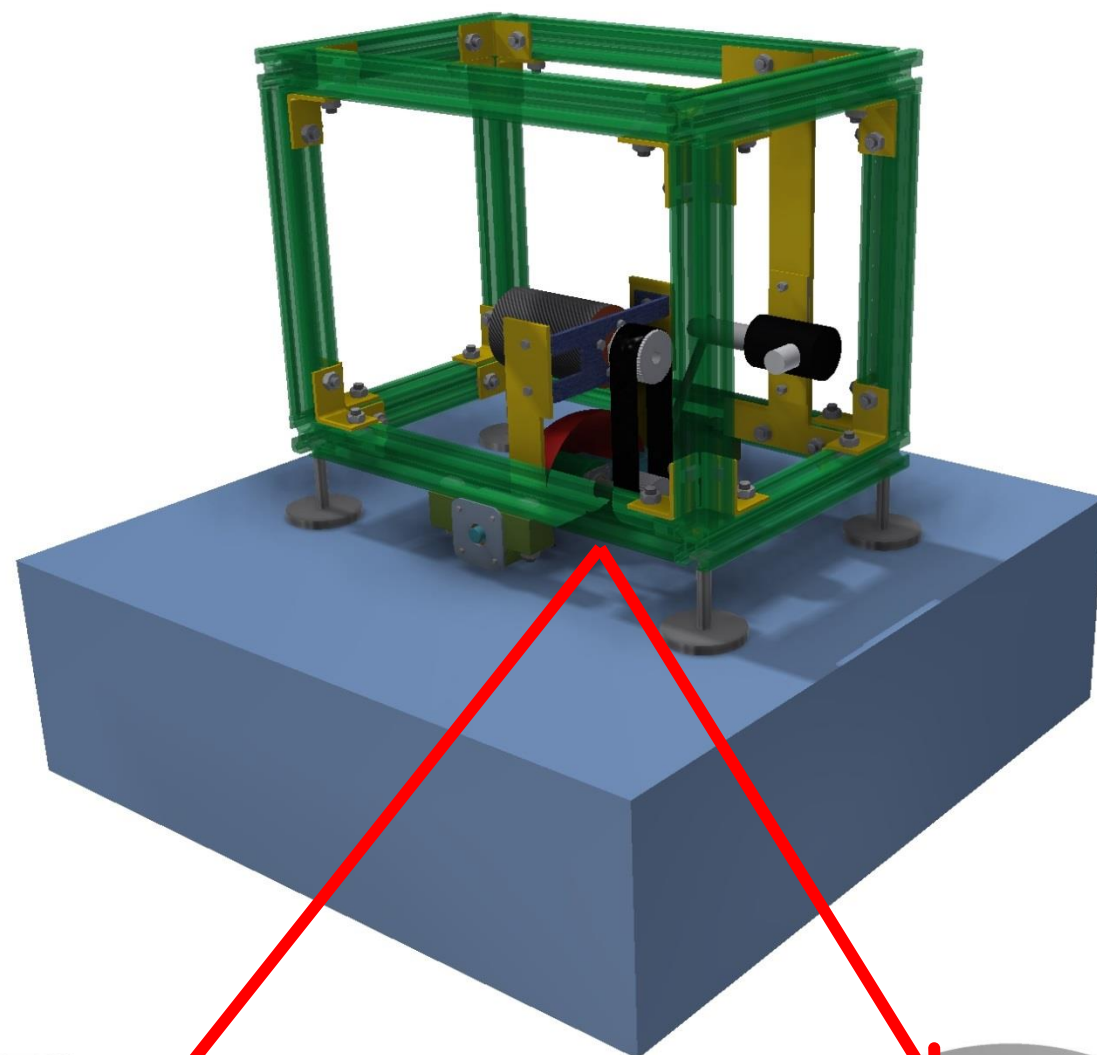
Szabványos méretű próbatestek kivágására nincs minden esetben lehetőség.



Mintavevő fejlesztése

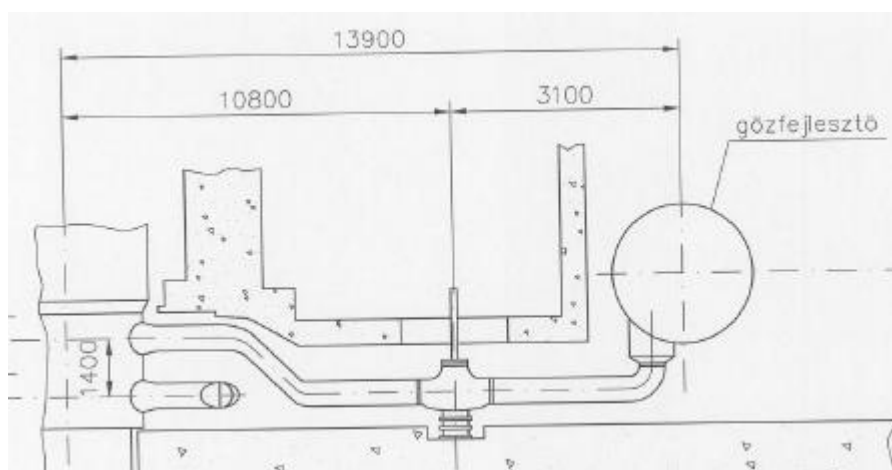
Jellemzők

- Kiváló minőségű mintavétel
- Gazdaságos anyagfelhasználás
- Gyors, automatizálható
- Max. 9000 rpm
- Hordozható
- Kompakt kivitel
- Egyszerű használni

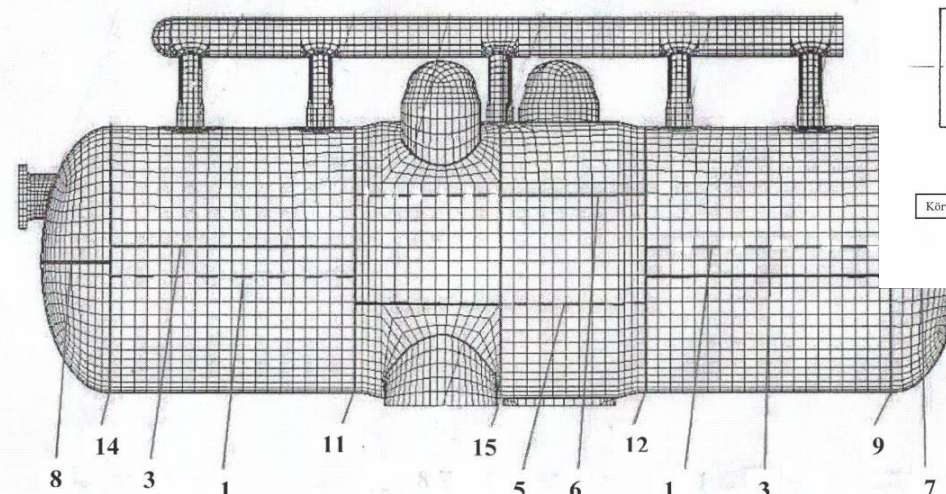


Összefoglalás

- Nem szabványos, de ígéretes anyagvizsgálati eljárás;
- Magas hőmérsékleten üzemelő szerkezetekre és;
- Öregedési folyamatok vizsgálatára is alkalmazható.

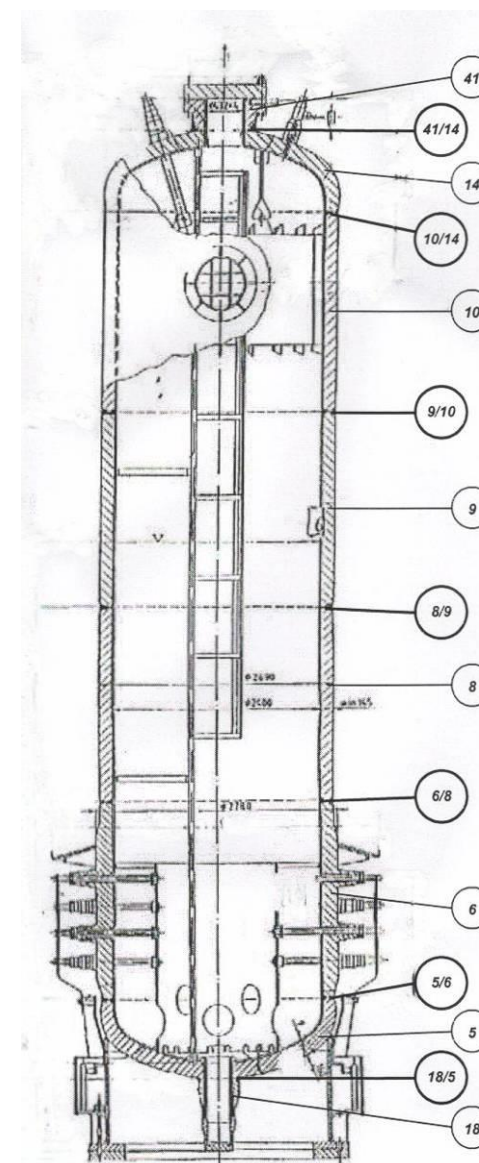
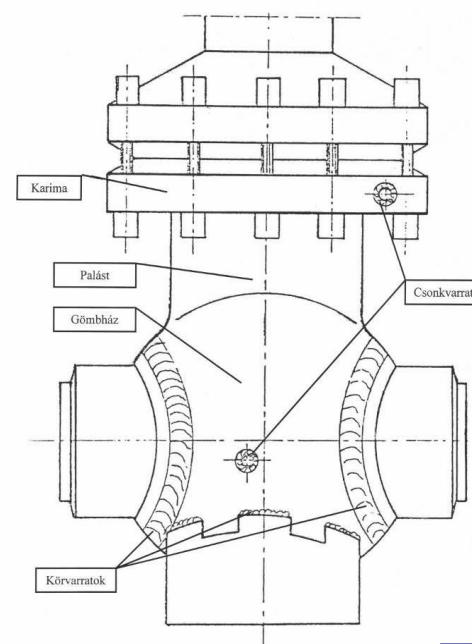


Főkeringtető vezeték



Gőzfejlesztő

Főelzáró tolózár



**Térfogatkiegyenlítő
tartály**

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

www.bayzoltan.hu

Köszönetnyilvánítás

A bemutatott munka a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0008 és a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projektek keretében került kidolgozásra. A kutatás megvalósítását támogatta még az Európai Unió, a European Social Fund. társfinanszírozásával, valamint az Szerkezetek és a kifáradás on-line ellenőrzése (EUREKA_HU_08-1-2010-0021) és a KIC InnoEnergy – ACOPP – Advanced near zero emission coal-fired power plant projektek.



Bay Zoltán
Alkalmazott Kutatási
Közhasznú Nonprofit Kft.