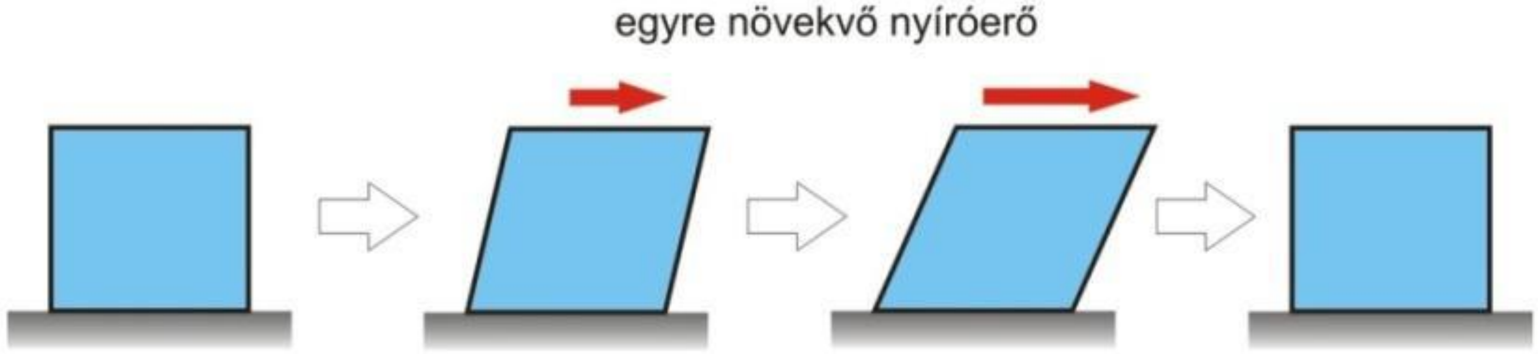
Polimertechnológia

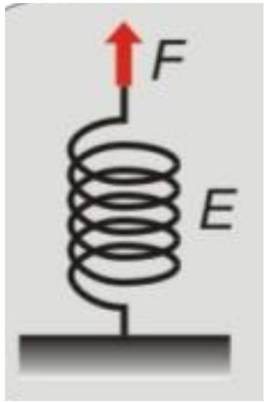
Polimer termékek tervezése 3.

Viszkoelaszticitás

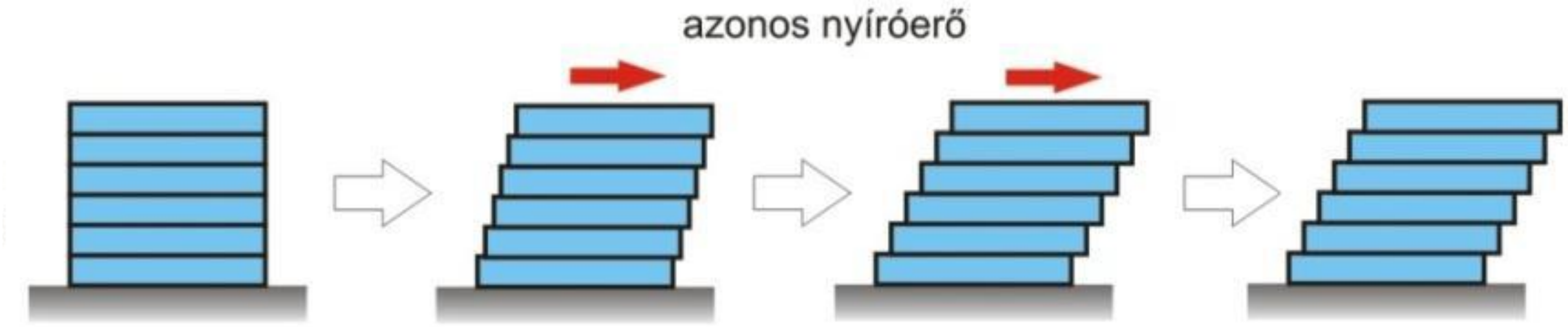
- A viszkózus és az elasztikus viselkedés együttes megjelenése.
- Rugalmas viselkedés (elasztikus)



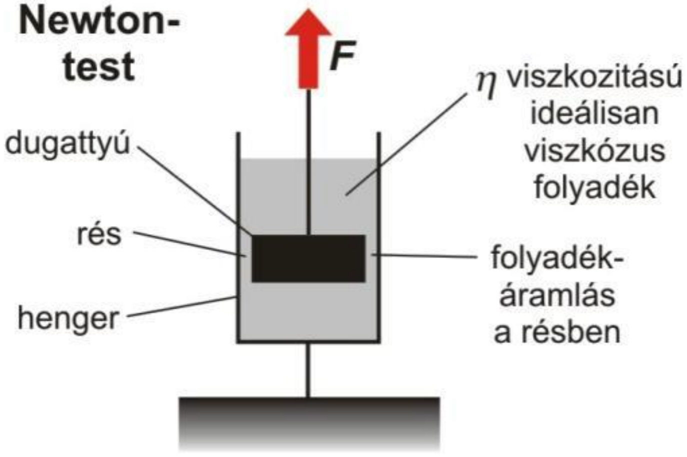
- Ideálisan rugalmas test (Hooke test)
- Érvényes a Hooke tv $\sigma = E\varepsilon$



Viszkózus viselkedés

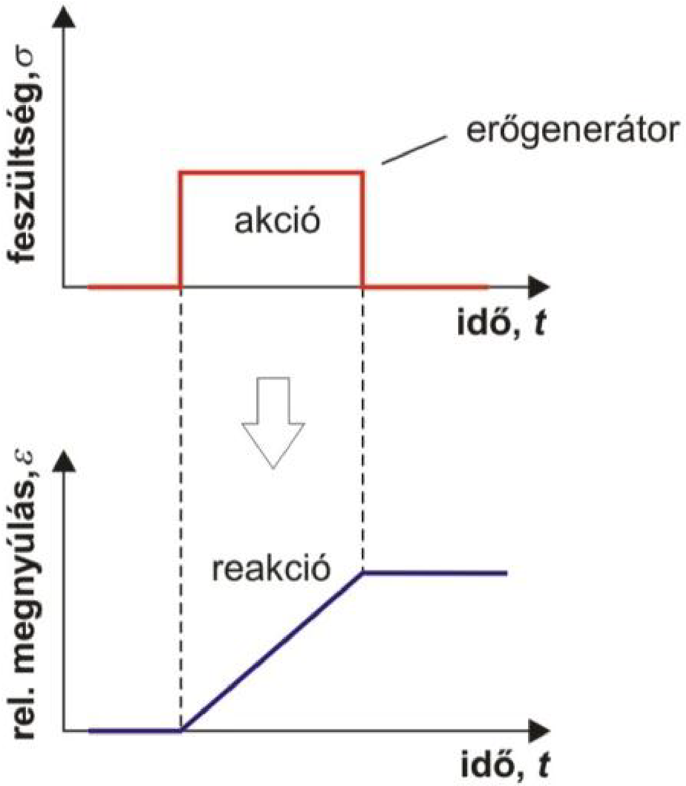


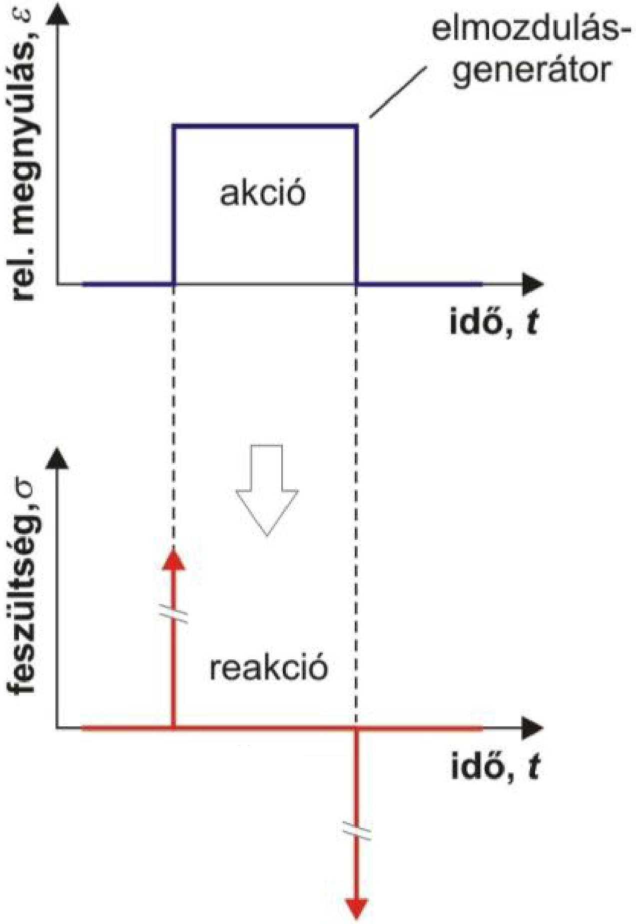
- Ideálisan viszkózus test (Newton test)



$$\sigma = \eta \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta t}$$

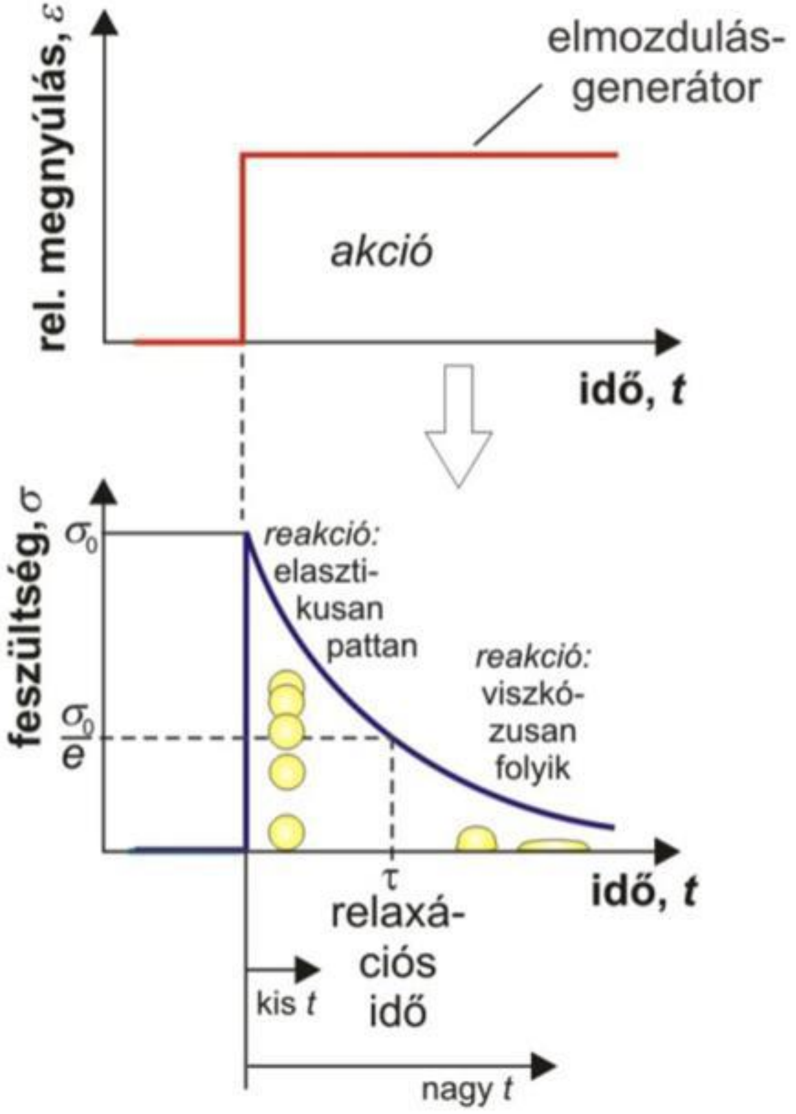
Viszkózus viselkedés





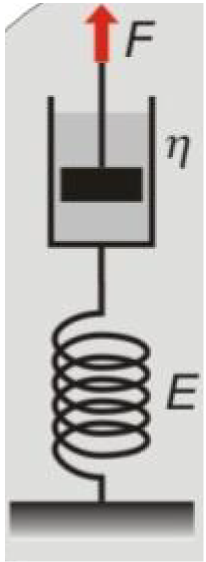
Viszkoelasztikus viselkedés

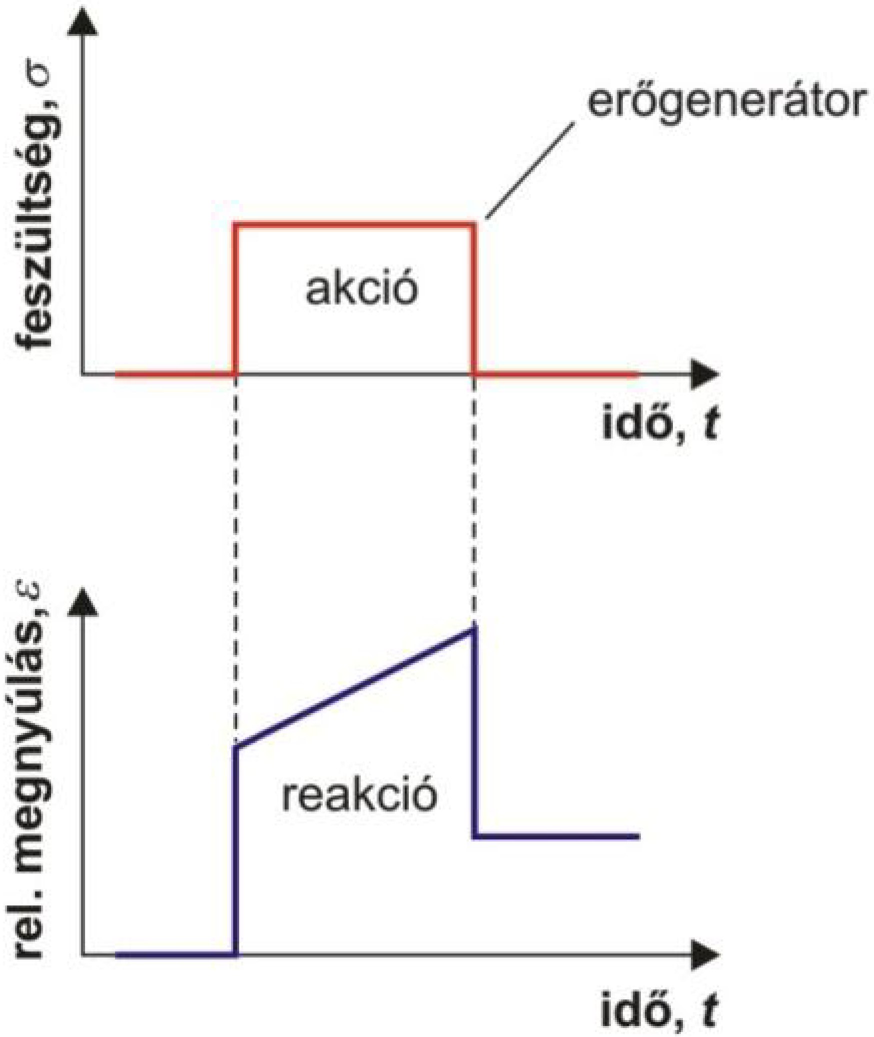
- Elmozdulás generátor
  - $\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$
    - τ – relaxációs idő
    - Az az idő, amíg a feszültség e-ad részére csökken
  - Ha a behatás ideje t<<τ , nincs idő a feszültség relaxációra
  - Ha a behatás ideje t>>τ , viszkózusan viselkedik



Viszkoelasztikus viselkedés

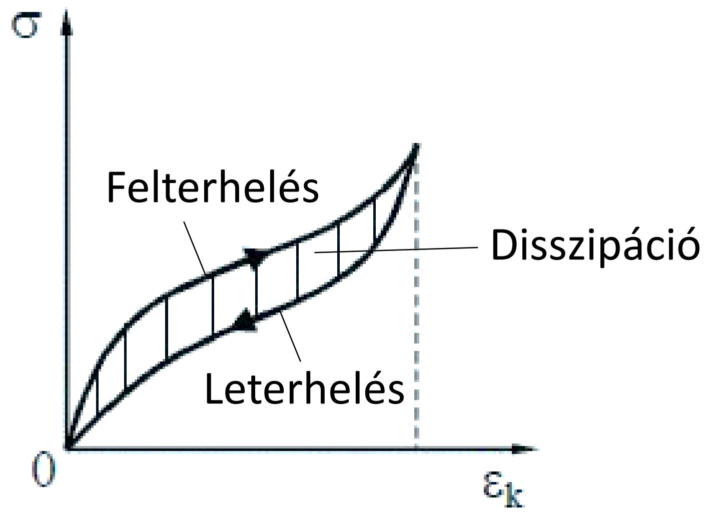
- Relaxációs idő: $\tau = \frac{\eta}{G}$
  - η – viszkozitás
  - G – csúsztetó rugalmassági modulusz
- Elasztikus anyagra: $\tau \approx \infty$
- Viszkózus anyagra: $\tau \approx 0$
- Maxwell modell: sorba kapcsolt Hooke test és Newton test

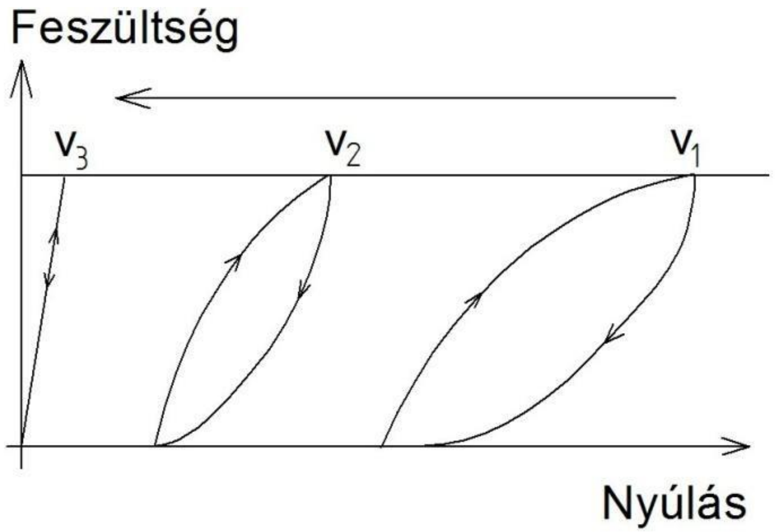




Viszkoelasztikus jelenségek

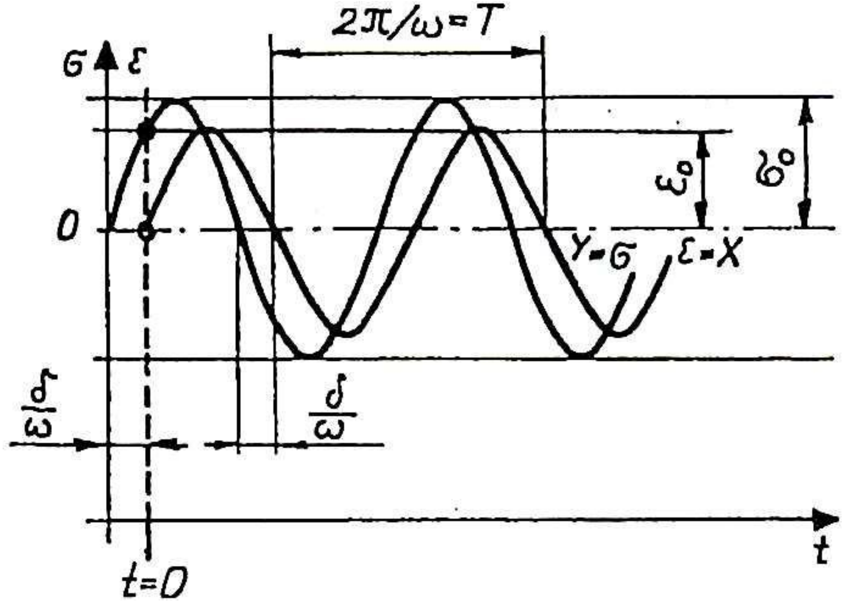
- Hiszterézis: A terhelési és a visszaterhelési görbe már a rugalmas tartományban sem esik egybe, bár a visszaalakulás teljes mértékű.

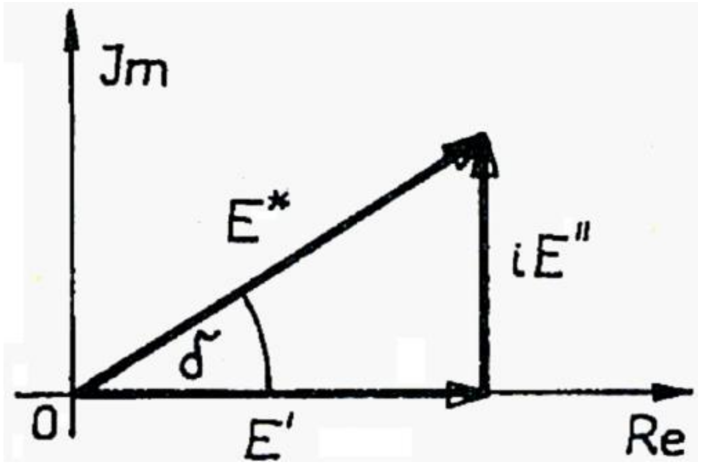




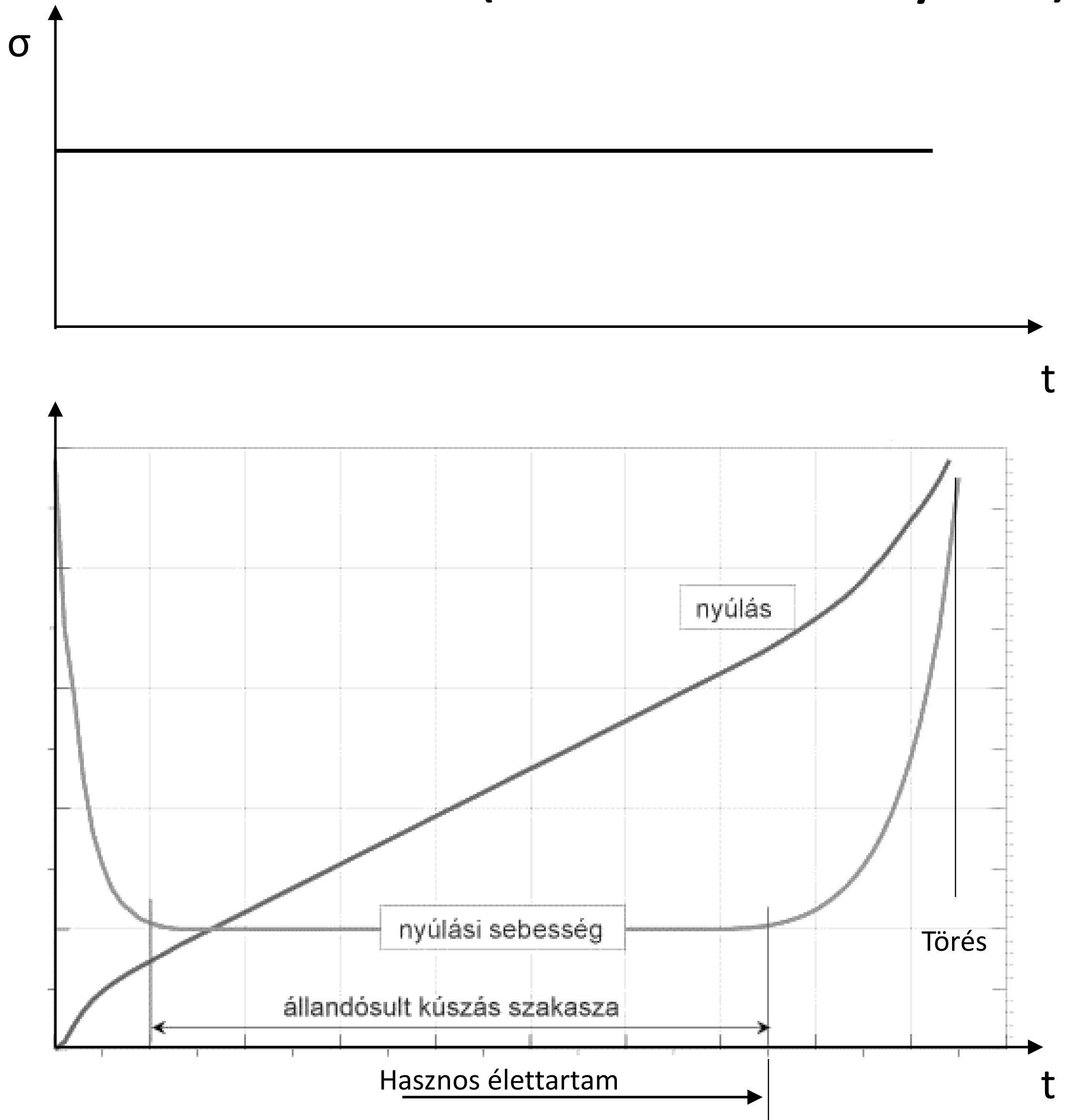
Periodikus gerjesztés

- Periodikus gerjesztés esetén a polimer viselkedése függ a frekvenciától és a hőmérséklettől
- $E' = (\sigma_0/\varepsilon_0)\cos\delta$ – dinamikus modulusz
- $E'' = (\sigma_0/\varepsilon_0)\sin\delta$ – veszteségi modulusz
- Viszkoelasztikus anyagokat jól lehet használni mechanikai energia eltüntetésére
  - Lengéscsillapítók
  - Rezgés csillapítás
  - Futócipő talpa



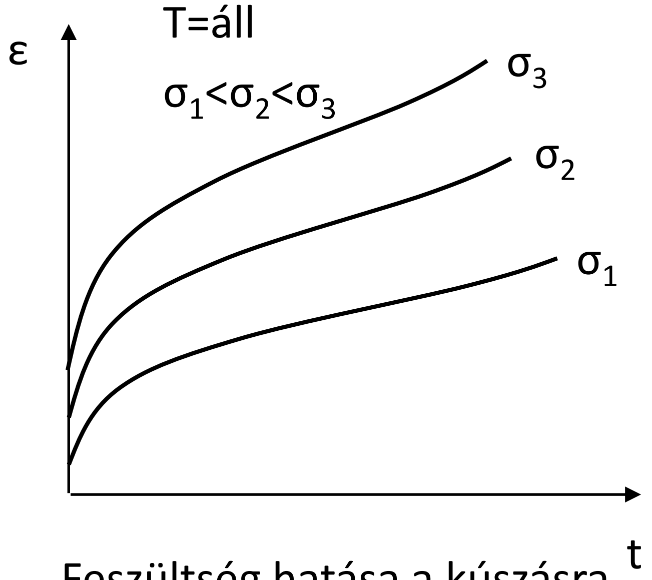


Kúszás (tartós folyás)

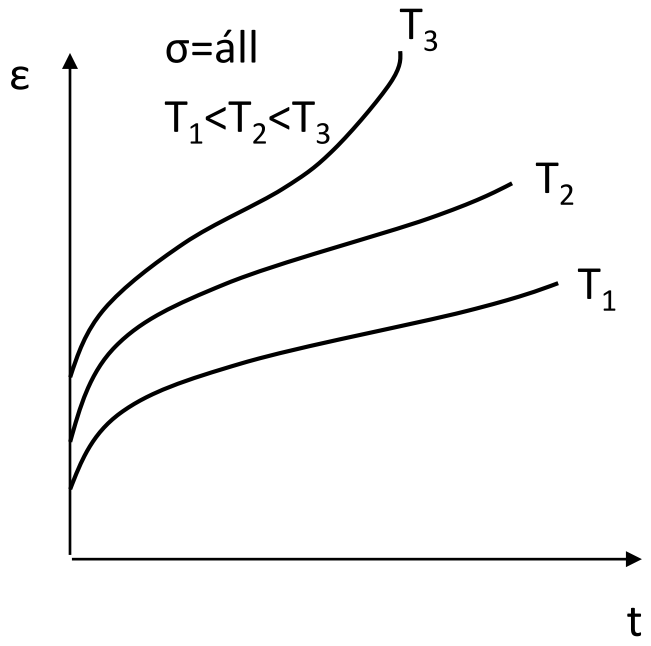


Kúszás (tartós folyás)

- Nem csak polimerek kúsznak:
  - Fémek $T>0.4T_{olv}$ [°K]
  - Kerámiák Al_2O_3 1700 °C felett
  - Üveg 400-500 °C



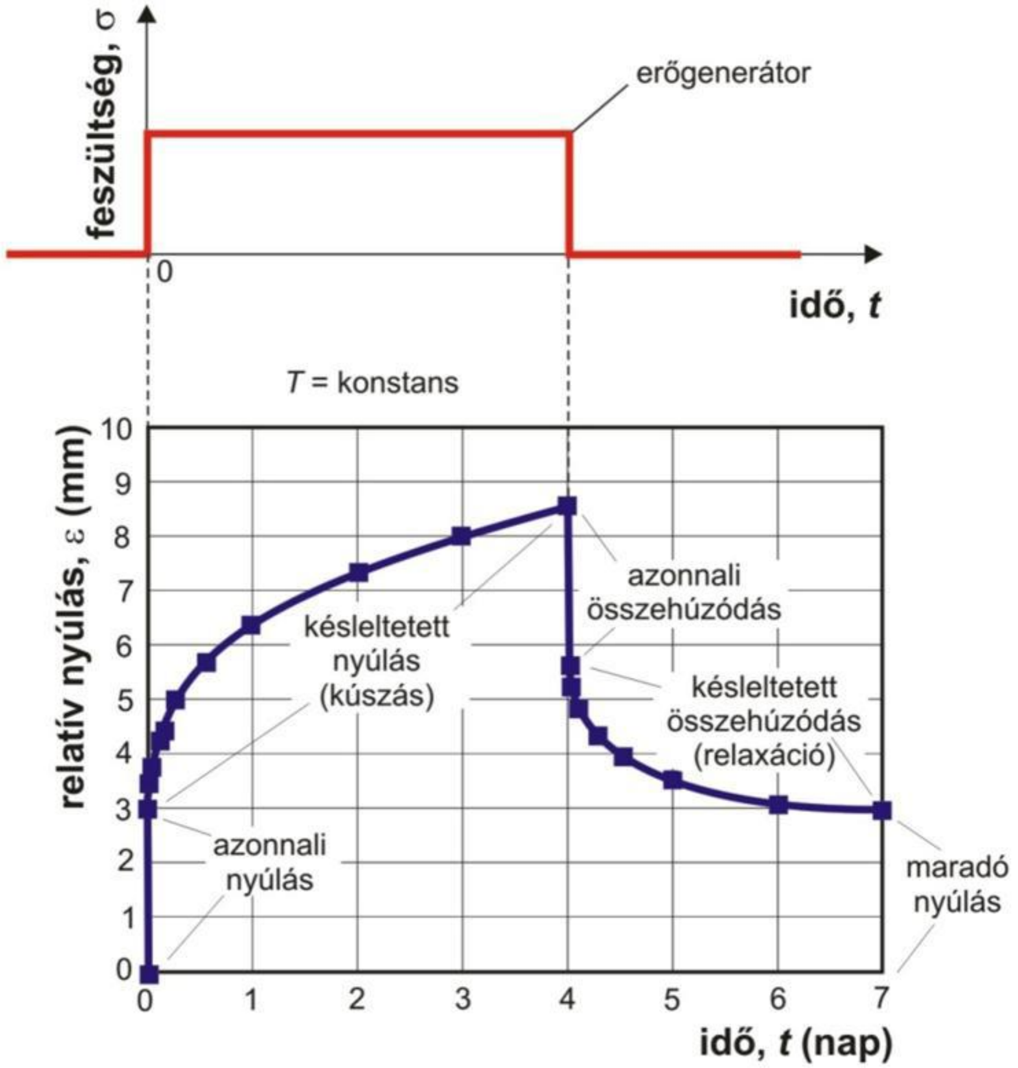
Feszültség hatása a kúszásra



Hőmérséklet hatása a kúszásra

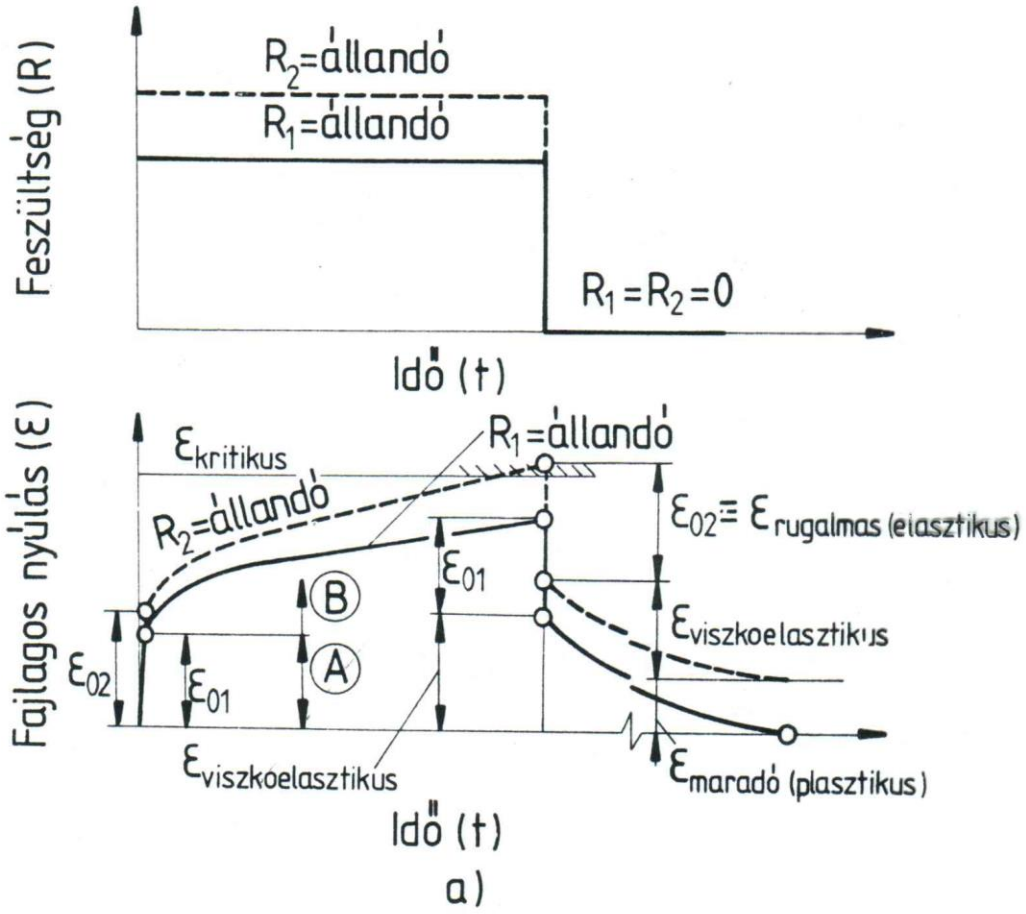
Kúszás

- Az alakváltozás komponensei:
  - $\varepsilon_{ö} = \varepsilon_r + \varepsilon_{ve} + \varepsilon_{pl}$
  - ε_r – rugalmas nyúlás
  - ε_{ve} – viszkoelasaztikus nyúlás
  - ε_{pl} – maradó nyúlás



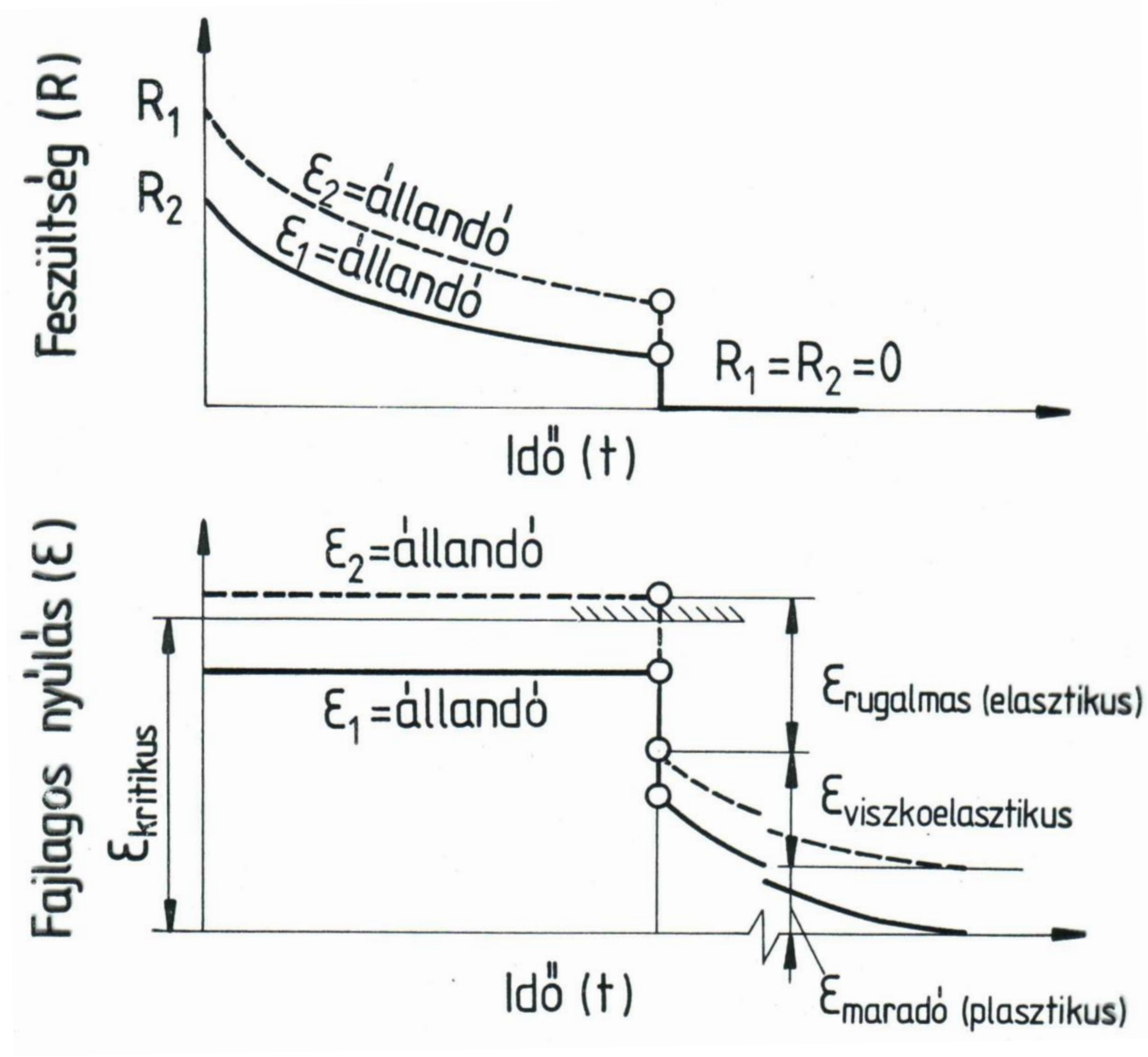
Kúszási görbe

- Terhelés – leterhelés esetén



Relaxáció

- Alak relaxáció – terhelés utáni visszaalakulás
- Feszültség relaxáció (ernyedés) – állandó deformáció melletti feszültség csökkenés



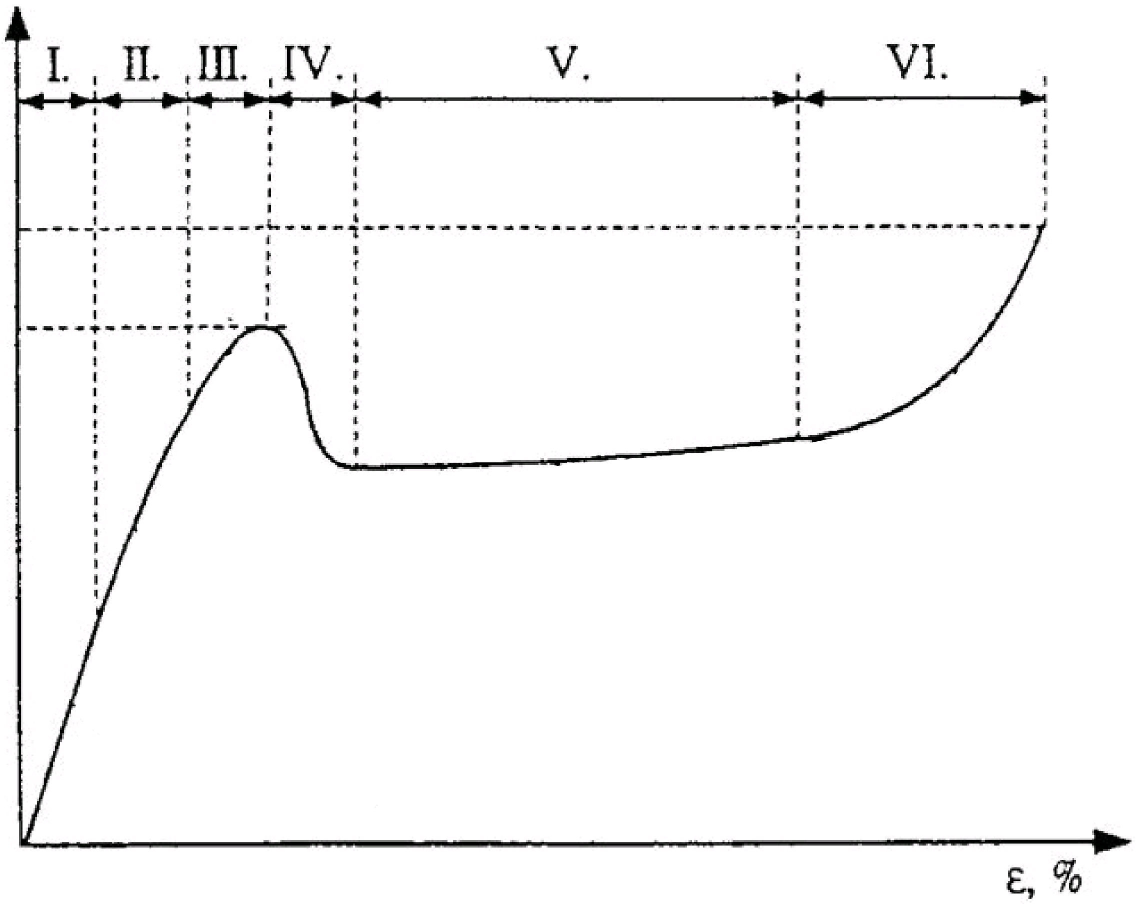
A lineárisan viszkoelasztikus elmélet

- A viszkózus és rugalmas paraméterek függetlenek a nyírófeszültségtől
- A tulajdonságok időben változnak
  - Mechanikai terhelés hatására (kúszás, relaxáció)
  - Egyéb terhelés – sugárzás okozta öregedés, kémiai degradáció
- Ezek a hatások már átlagos körülmények között is károsan hatnak a tulajdonságokra.
- Idő függvényében a terhelésre adott válaszokat, tulajdonság függvényeket kell meghatározni → anyagtörvény
- Rugókból és csillapító tagokból felépített modellek
  - Sok elem esetén jól közelítik a valós viselkedést → sok paraméter
  - Nem tartalmazzák a tönkremeneteli folyamatot, határállapotot
- Határállapot – mikrorepedések megjelenése

A lineárisan viszkoelasztikus elmélet

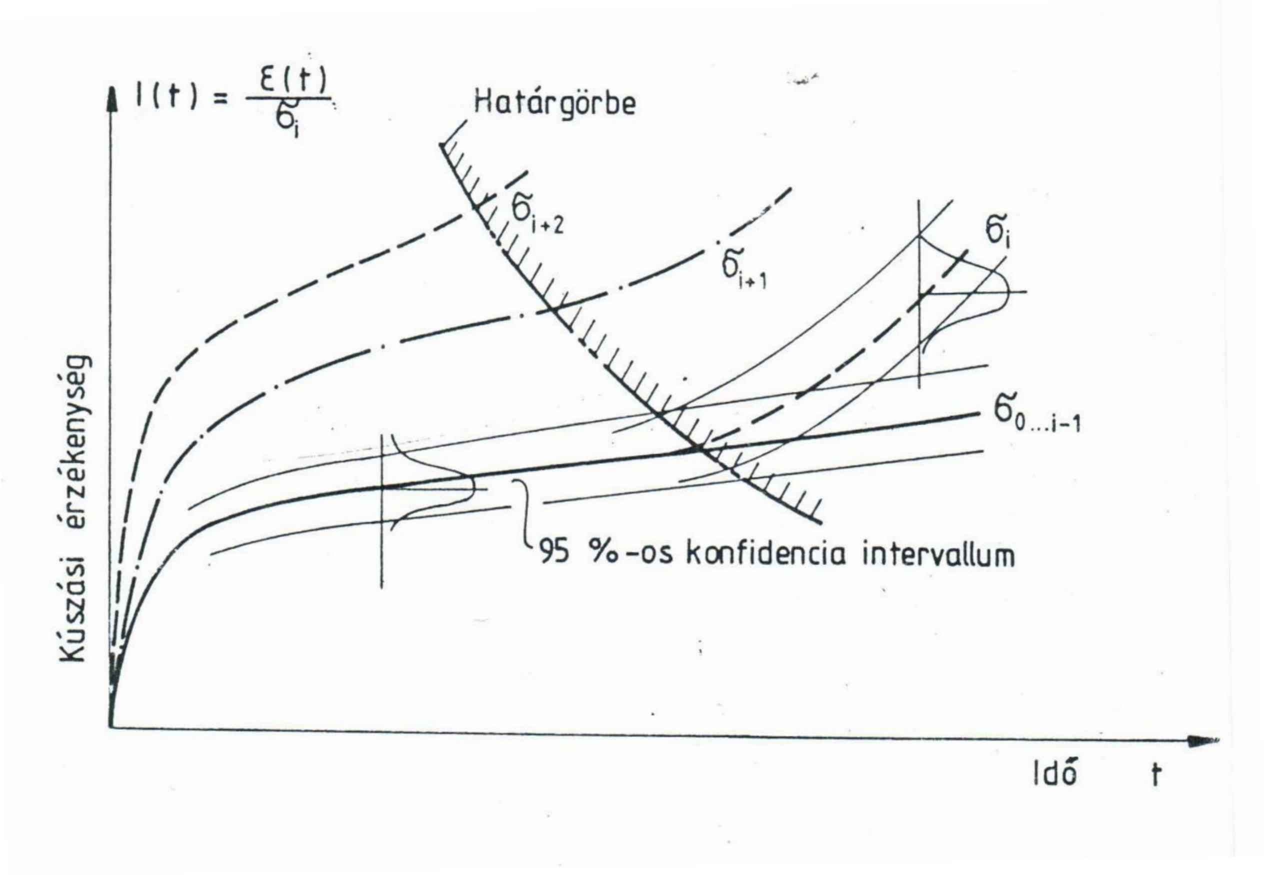
- A polimerek viszonylag kis deformáció esetén mutatnak lineárisan viszkoelasztikus viselkedést.

I. Lineárisan rugalmas
II. Lineárisan viszkoelasztikus
III. Nem lineárisan viszkoelasztikus
IV. Nyakképződés vagy kontrakció – folyás
V. Állandósult folyás
VI. Felkeményedés



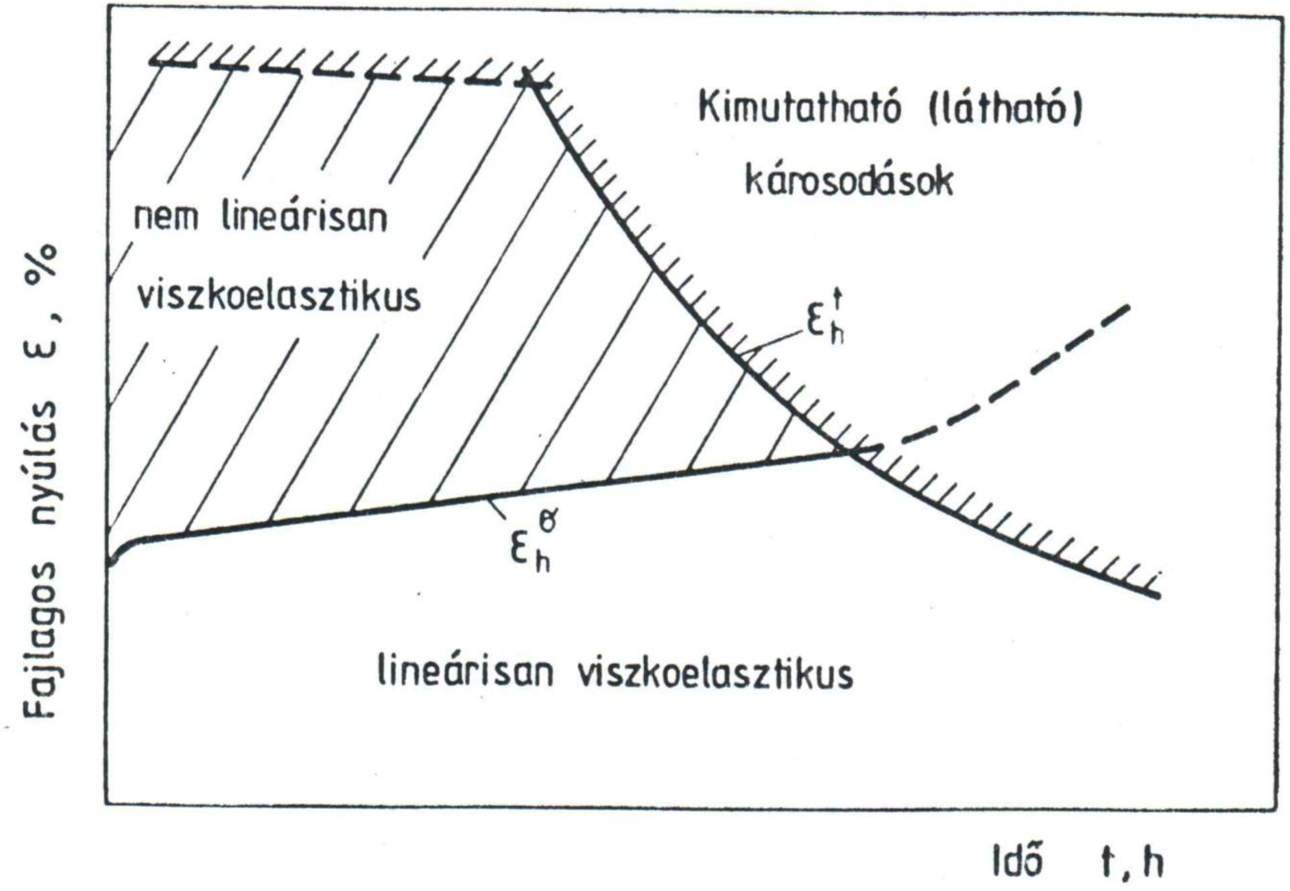
Kúszási érzékenységi görbék

- A kúszásgörbék átszámíthatók ún. kúszási érzékenységi függvényekké
- $I(t) = \dfrac{\varepsilon(t)}{\sigma_i}$
- σ_{i-1} – terhelési szintig – a szórás mezőn belül egyetlen görbe
- σ_i - terhelési szinten a görbe a mikrorepedés megjelenésekor kilép a mezőből.
- σ_{i+1} - és nagyobb terhelések esetén az érzékenységi görbe már kezdetben is a szórásmezőn kívül fut.



Viszkoelasztikus polimerek állapot mezői

- A σ_{i-1} terhelési szinthez tartozó ε(t) kúszásgörbe jelenti a terhelés szerinti határalakváltozást (ε_h^σ)
- ε_h^t a mikrorepedések megjelenésének határát jelöli.



A lineáris viszkoelasztikus elmélet feltevései

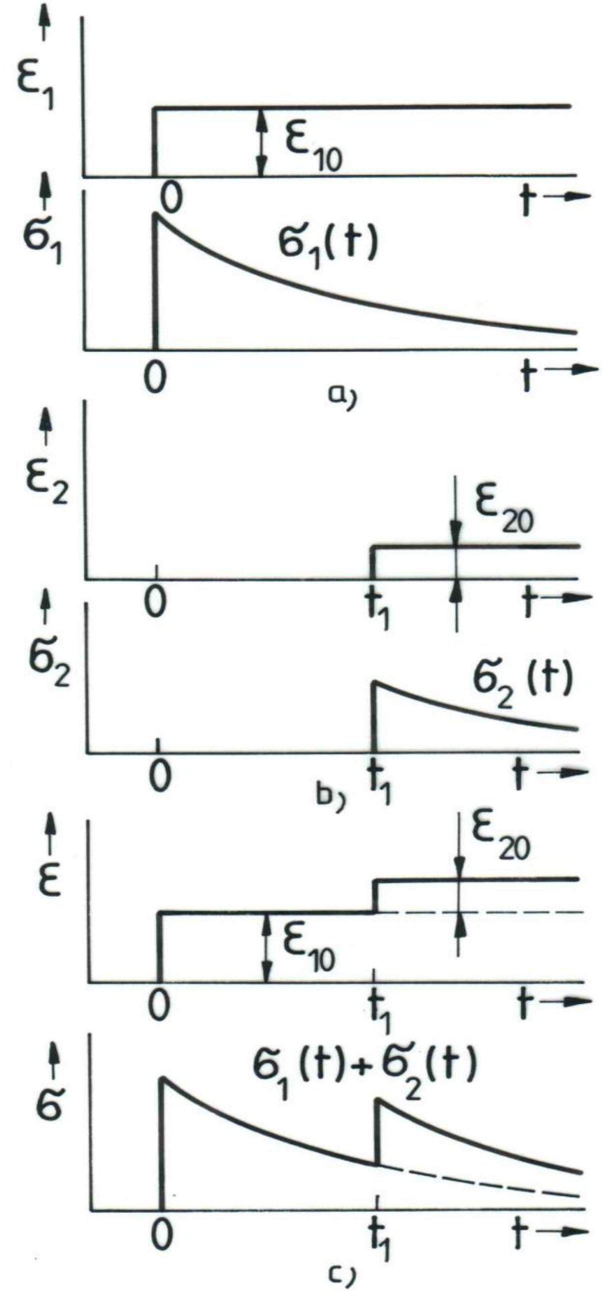
- A részben kristályos polimereknél nem helytálló a lineárisan viszkoelasztikus viselkedés feltételezése
- Feltevések:
  - Kúszási feltevés (öregedés mentes)
  - Boltzmann féle szuperpozíció elve
  - Hasonló hatások elvei
  - Korrespondencia (megfeleltetési) elv

Boltzmann féle szuperpozíció elve

- Összetett terhelés esetén – több terhelés, illetve fel és leterhelés
- Összetett igénybevétel okozta teljes alakváltozás bármely időpillanatban megadható az egyes terhelési lépcsők okozta alakváltozások algebrai összegeként.

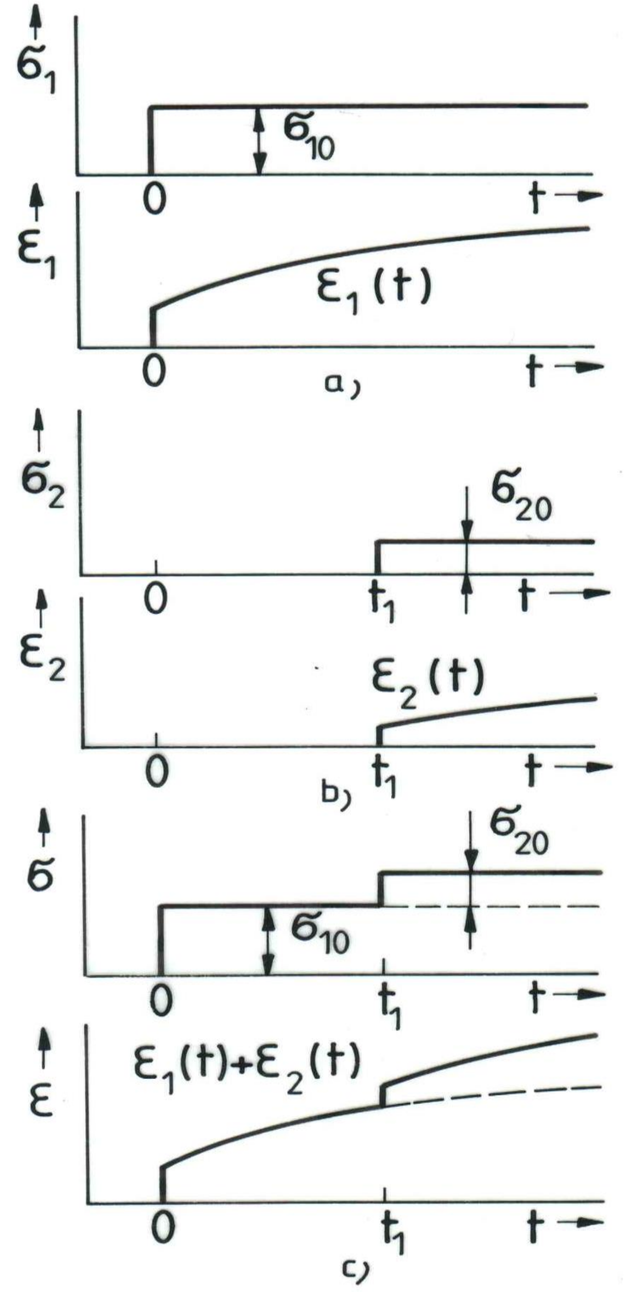
Boltzmann féle szuperpozíció elve

- Relaxációra: $\sigma(t) = \sum_{-\infty}^{t} \varepsilon_i R(t - t_i)$



Boltzmann féle szuperpozíció elve

- Kúszásra: $\varepsilon(t) = \sum_{-\infty}^{t} \sigma_i I(t - t_i)$



Hasonló hatások elve

- Hőmérséklet – idő hatásának hasonlósága
- Feszültség – idő hatásának hasonlósága
- Rezgés – idő hatásának hasonlósága
- Nedvesség – idő hatásának hasonlósága

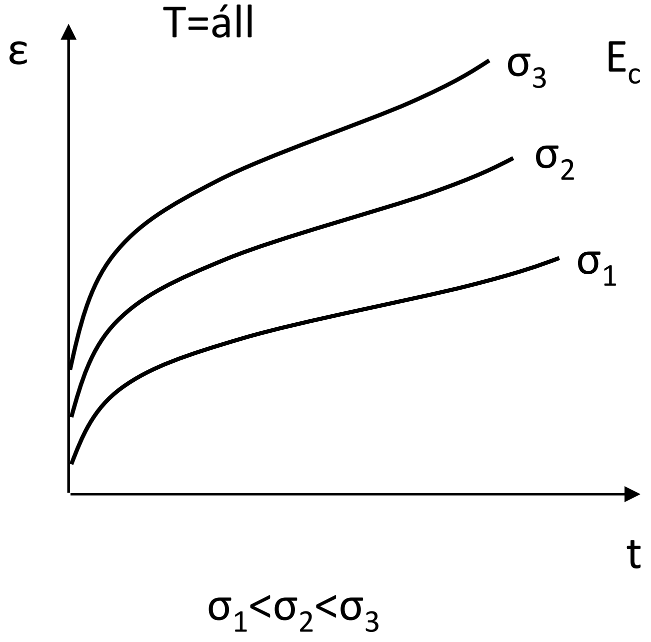
- Hőmérséklet – idő hatásának hasonlósága
  - a hőmérséklet és az idő szerepe a polimer viselkedése szempontjából felcserélhető.
    - A lassú időtartamú, alacsony hőmérsékletű vizsgálatok eredményei növelt hőmérsékletű rövidebb idejű vizsgálatok alapján megbecsülhetők.
    - Amennyiben nem következnek be jelentős szerkezeti változások az anyagban (öregedés, kristályosság mértékének megváltozása, belső feszültségek relaxációja)

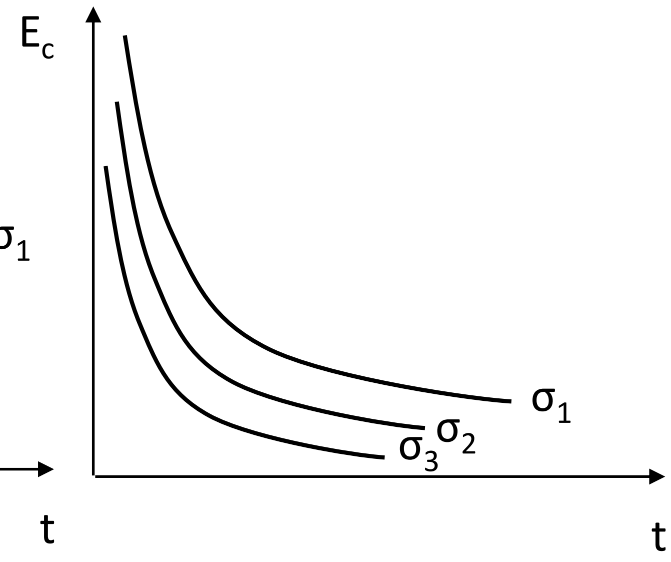
Korrespondencia (megfeleltetési) elv

- A szilárdságtanban megismert eljárások alkalmazhatók, csak anyag jellemzők helyett időfüggvényeket kell alkalmazni.
  - Pl E helyett $E_c(t)$ – kúszási rugalmassági modulusz
  - Húzott rúd megnyúlása: $\Delta L(t) = \frac{FL}{AE_c(t)}$
  - Hajlított tartó lehajlása: $f(t) = \frac{FL^3}{3IE_c(t)}$
    - Ec(t) – a szélső szálban keletkező feszültséghez tartozó függvény

Kúszási görbékből származtatott tulajdonság függvények

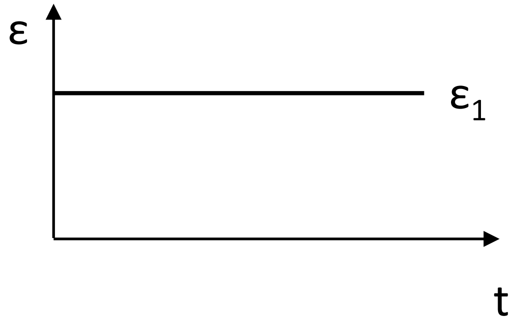
- Kúszási rugalmassági modulusz:
- $E_c(t) = \frac{\sigma}{\varepsilon(t)}$

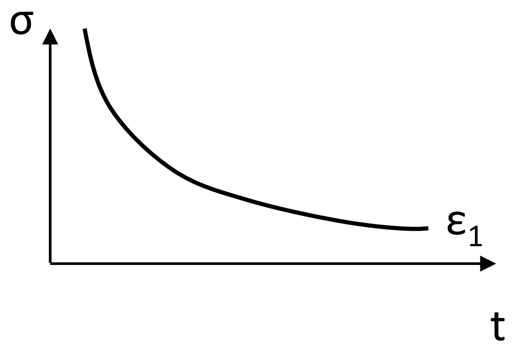


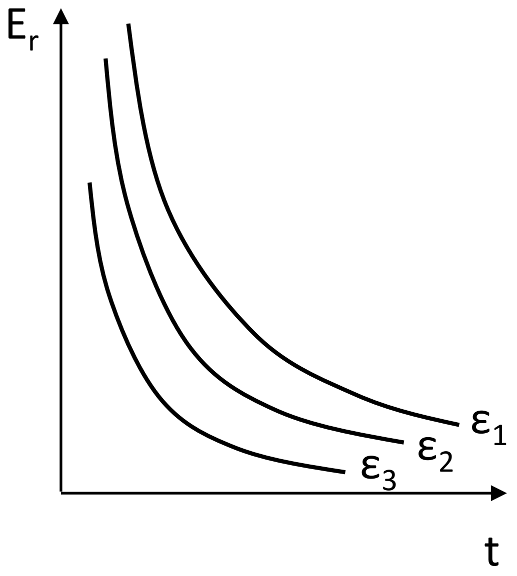


Relaxációs görbékből származtatott tulajdonság függvények

- Relaxációs rugalmassági modulusz:
- $E_r(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon}$



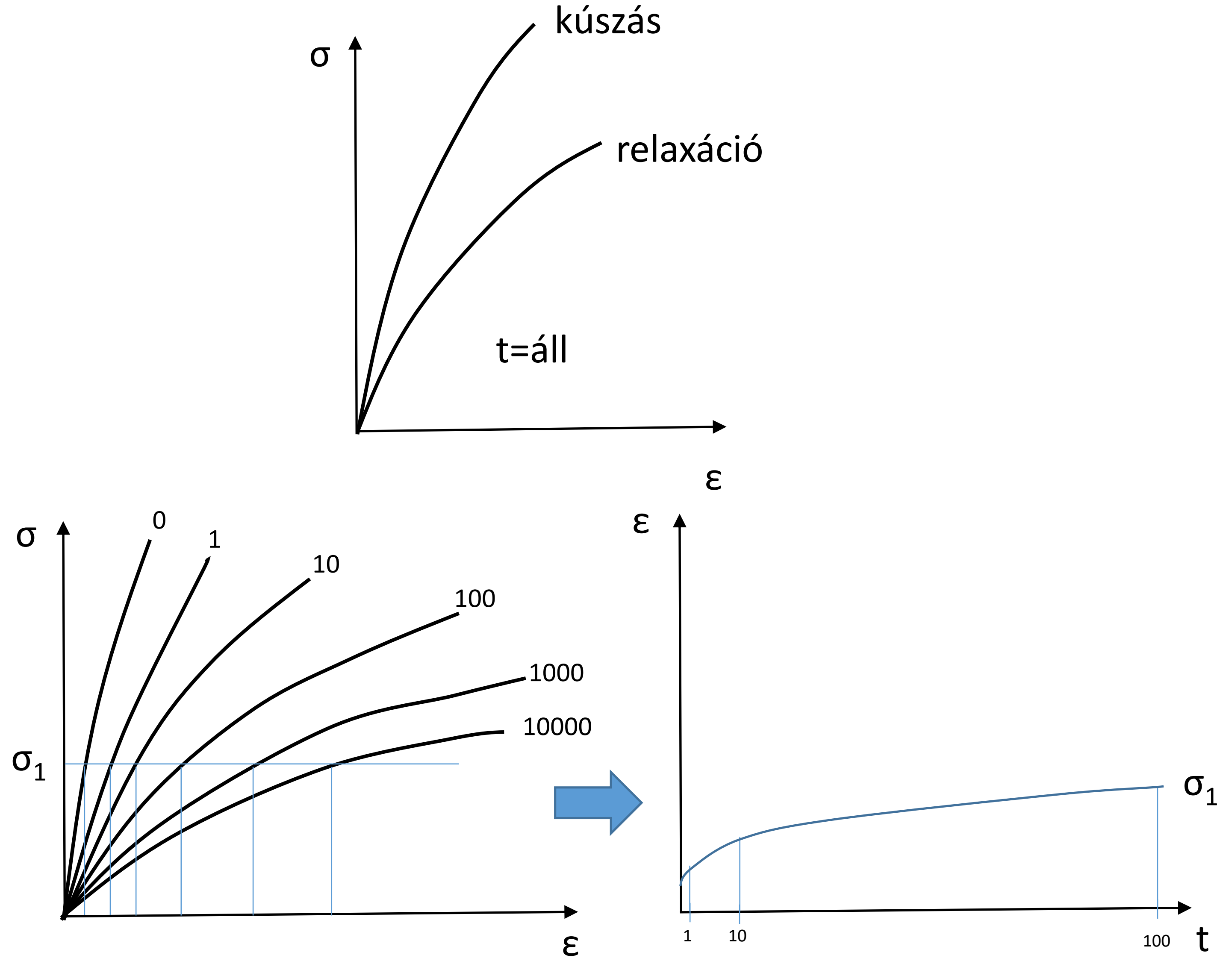




$\varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \varepsilon_3$

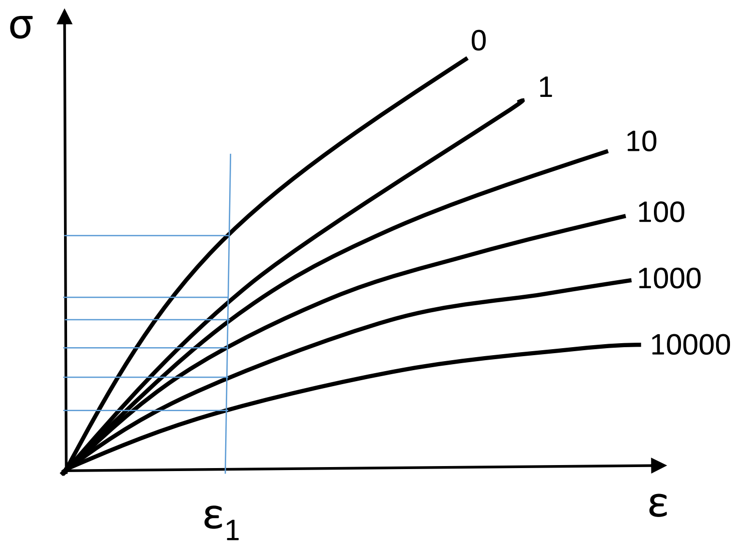
Egyidejű (izochrom) feszültség-nyúlás görbék

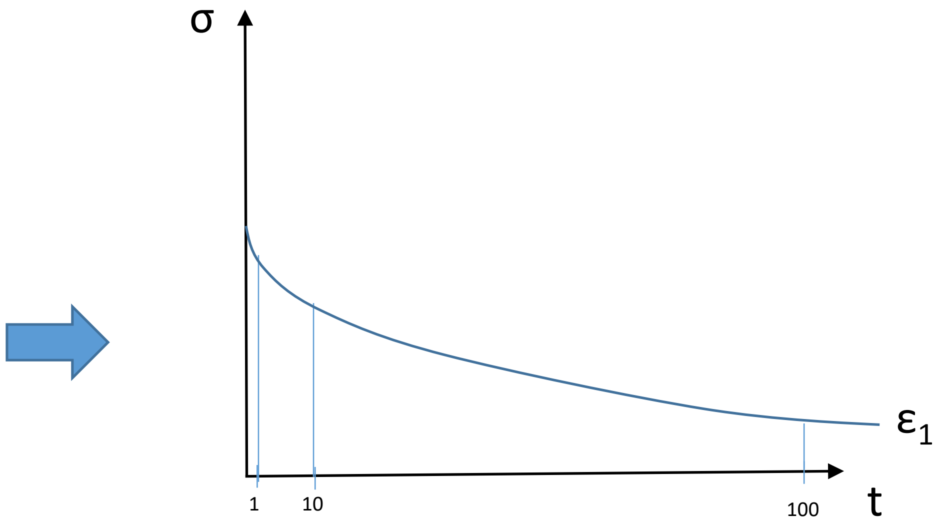
- Megszerkeszthetők az adott anyag kúszási, relaxációs görbéiből
- Kúszásra – különböző feszültségnek teszik ki és adott idő múlva mérik a deformációt.
- Relaxációra - különböző alakváltozásnak teszik ki és adott idő múlva mérik a feszültséget.



Egyidejű (izochrom) feszültség-nyúlás görbék

- Tetszőleges relaxációs görbe előállítása a relaxációs egyidejű feszültség-nyúlás görbékből.





Csökkentő tényezők módszere

- Határállapot becslése rövid idejű szilárdsági adatok alapján
- $\sigma_{meg} = \frac{R_{határ}}{K_0 \sum K_i}$ $\qquad \sum K_i = K_1 K_2 K_3 K_4$
- K_0 – általános teherviselő szerkezetre 1.5-1.8
- K_1 – statikus terhelés

K_1 – statikus terhelés	t=10 h	1.2-1.3
	$t=10^5$ h	2
ismétlődő terhelés	$N=10^3$	1.3-1.4
	$N=10^8$	3

- K_2 – hőmérséklet

K_2 – hőmérséklet	20 °C	1
	40 °C	1.1-1.2
	60 °C	1.3-1.4
	80 °C	1.5-1.6

- K_3 – nedvesség változó nedvesség tartalmú környezet 1.3-1.4
- K_4 – csak kondícionálatlan esetekben 1.4-1.5