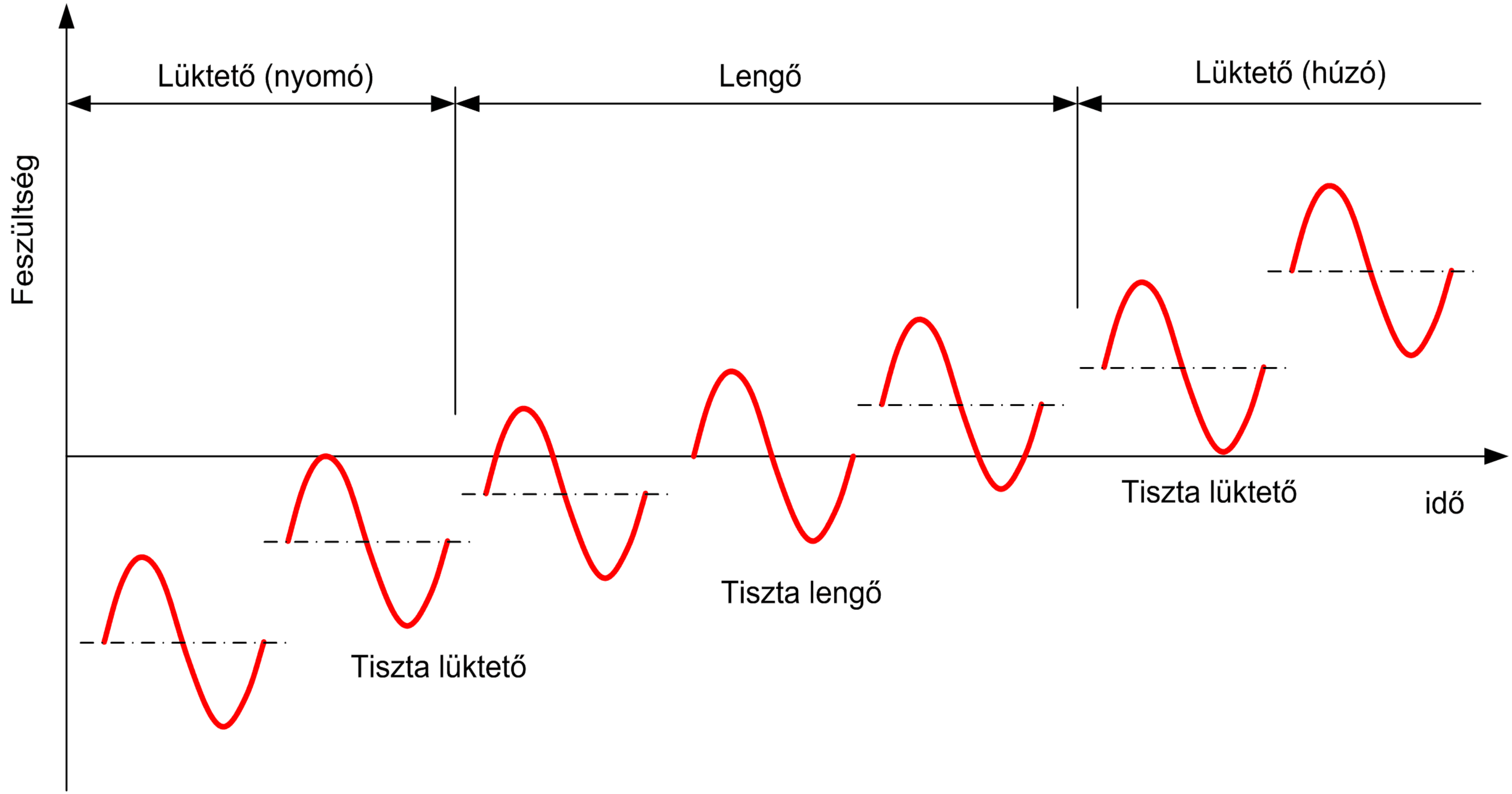
GÉPSZERKEZETTAN - TERVEZÉS

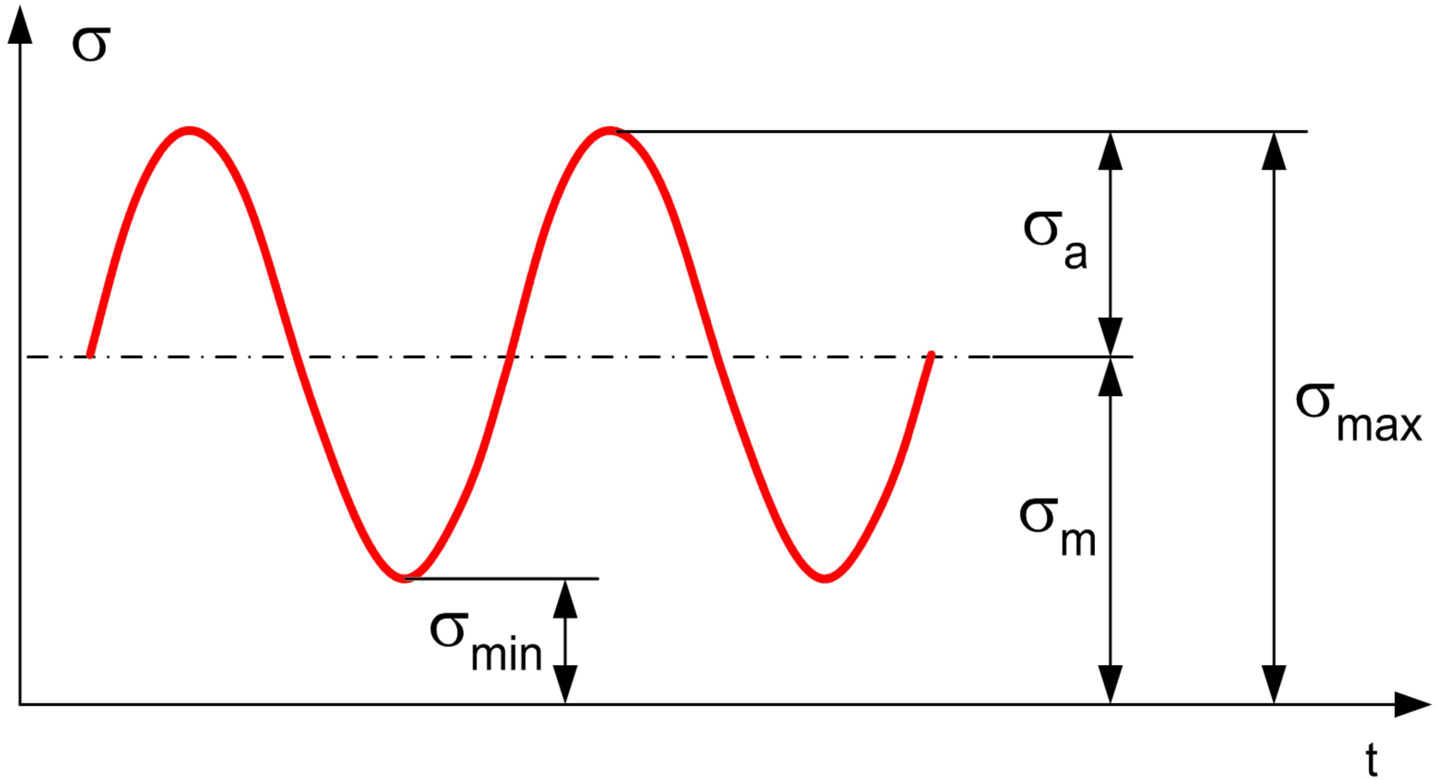
IDŐBEN VÁLTOZÓ IGÉNYBEVÉTEL, KIFÁRADÁS

Változó igénybevétel

- Állandó amplitudó, periódikus változás



Alapfogalmak



Középfeszültség: σ_m, feszültségamplitudó: σ_a, maximális feszültség: σ_{max}, minimális feszültség: σ_{min}

Összefüggések

Maximális feszültség: $$\sigma_{\max} = \sigma_m + \sigma_a$$

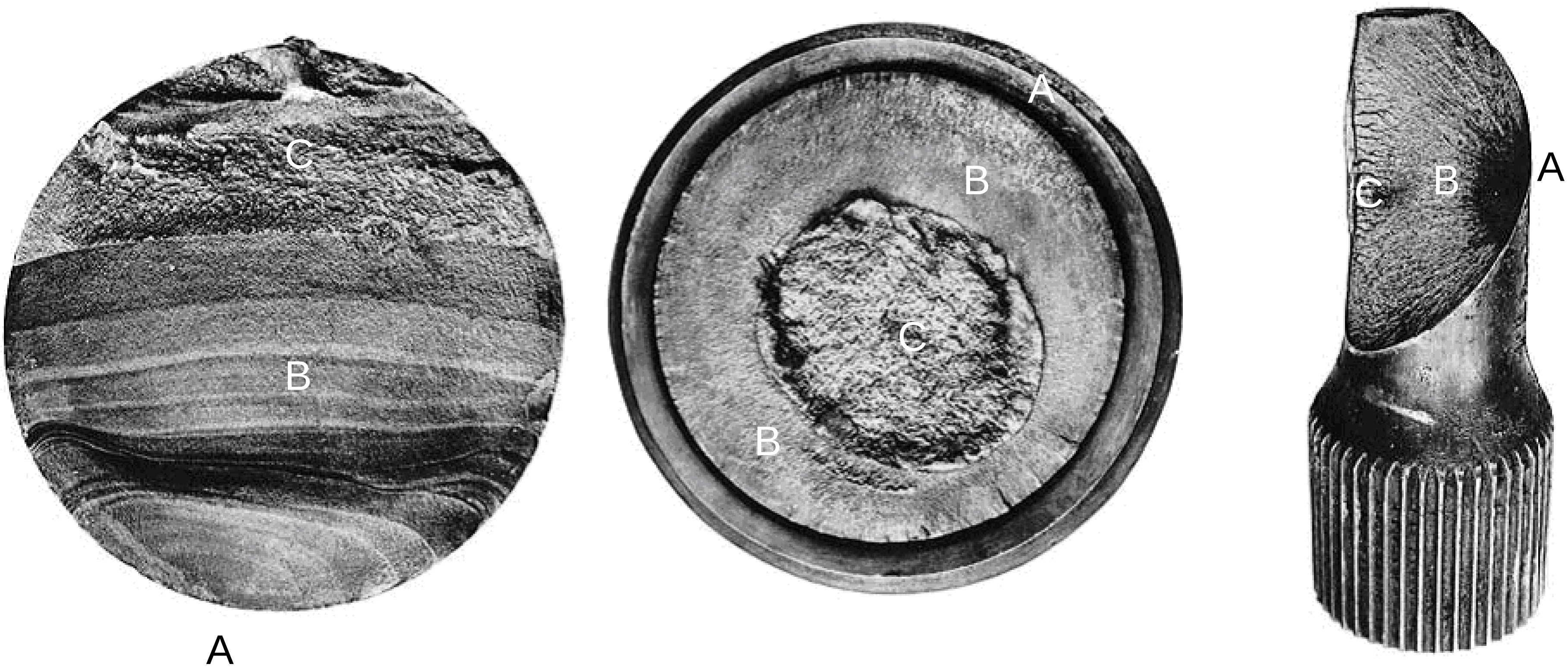
Minimális feszültség: $$\sigma_{\min} = \sigma_m - \sigma_a$$

Feszültség viszony: $$R_s = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma_m - \sigma_a}{\sigma_m + \sigma_a}$$

Az amplitudó és a középfeszültség kapcsolata:

$$\sigma_a = \frac{1 - R_s}{1 + R_s}\sigma_m$$

Fáradt törés



A: repedés kezdete   B: repedés tovább terjedése   C: törés

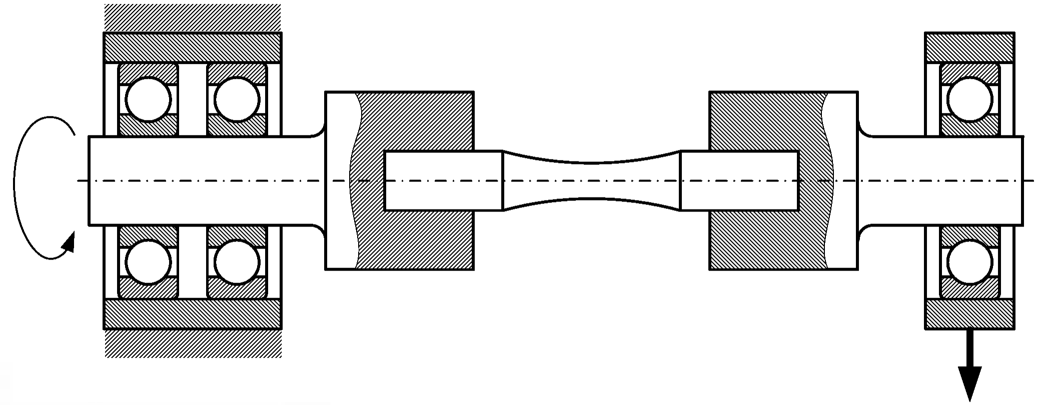
A kifáradás folyamata

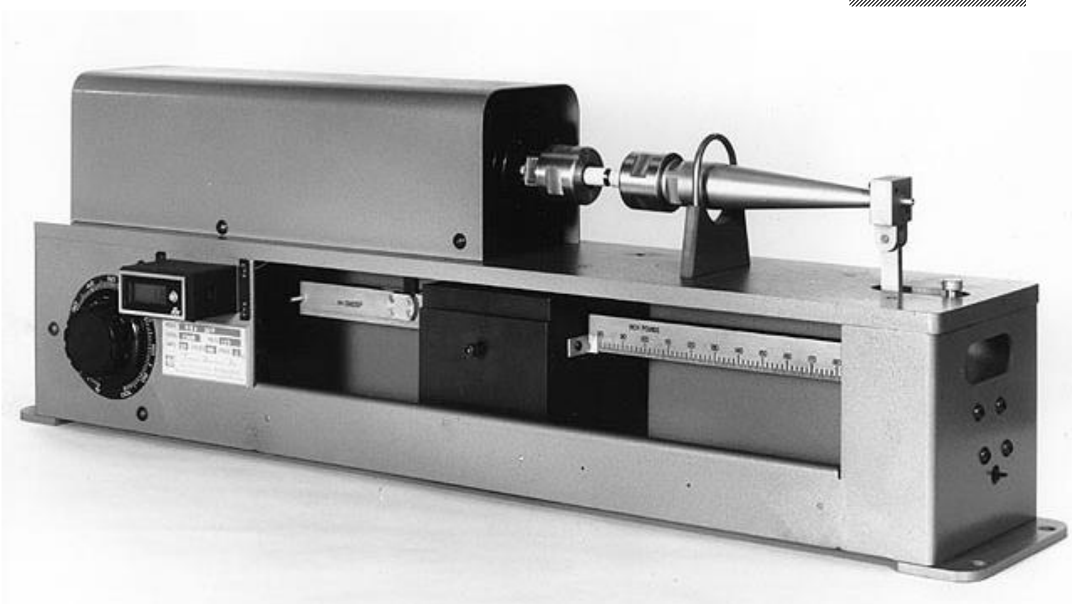
- Repedés kezdete
- Repedés terjedése
- Terhelési határvonalak
- Fáradt törés: matt, sima felületű, kagylós töret
- A teherviselő keresztmetszet egyre csökken
- Végső fázisban a terhelés meghaladja a statikus szilárdságot
- Rideg törés: csillogó, szemcsés töret

Wöhler kísérletei

- August Wöhler: 1860-tól szisztematikus fárasztó vizsgálatok mintegy 10 éven át
- Vasúti kocsik tengelyei hosszabb üzemelési idő után eltörtek
- A statikus szilárdsági számítások ezt nem indokolták
- A törés oka: kifáradás
- Az igénybevétel időben változó, ismétlődő, forgó-hajlító

Fárasztó vizsgálat

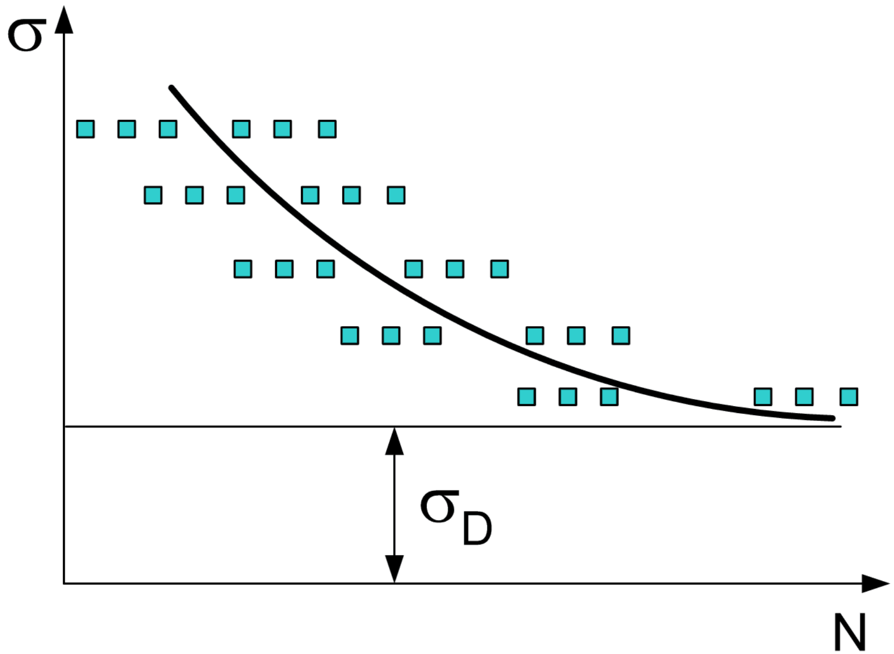


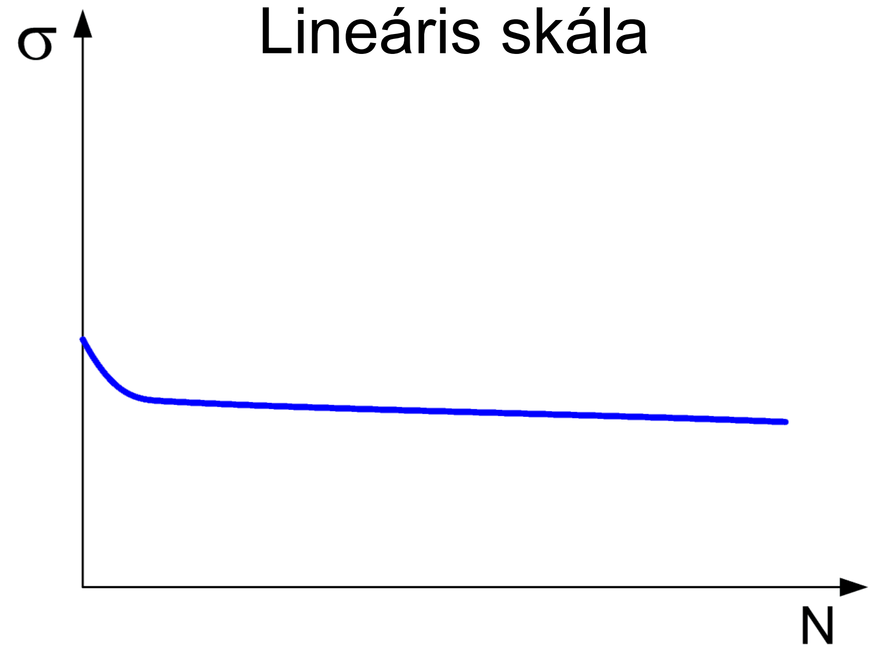


Wöhler eredményei

- Kifáradási diagram (Wöhler-görbe): kísérleti adatok alapján felvett összefüggés a terhelésismétlési szám (ciklusszám) **N** és a feszültség **σ** között
- Kifáradási határ: az a feszültség, melyet az adott szerkezeti elem végtelen sok ismétlődéssel, törés nélkül elvisel

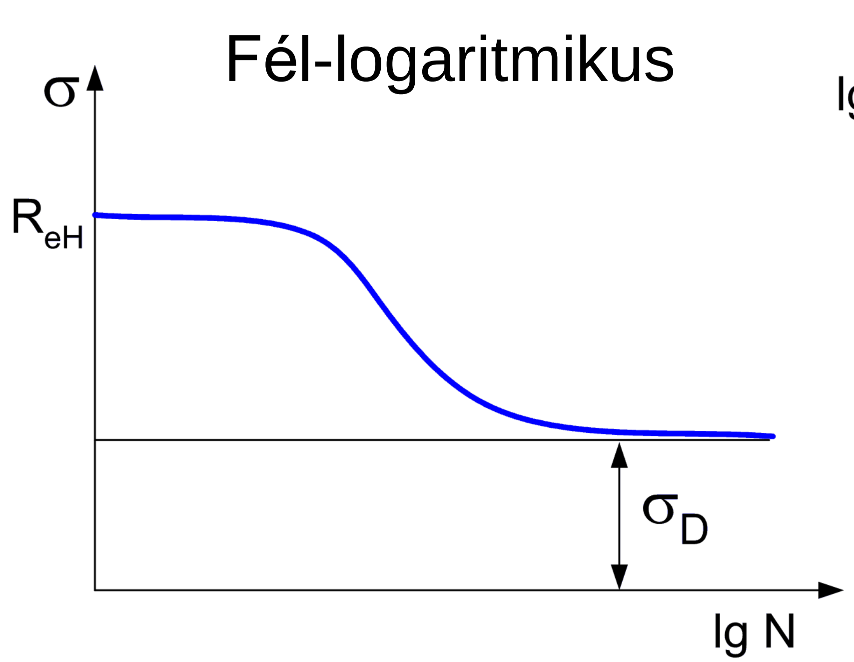
Wöhler-görbe

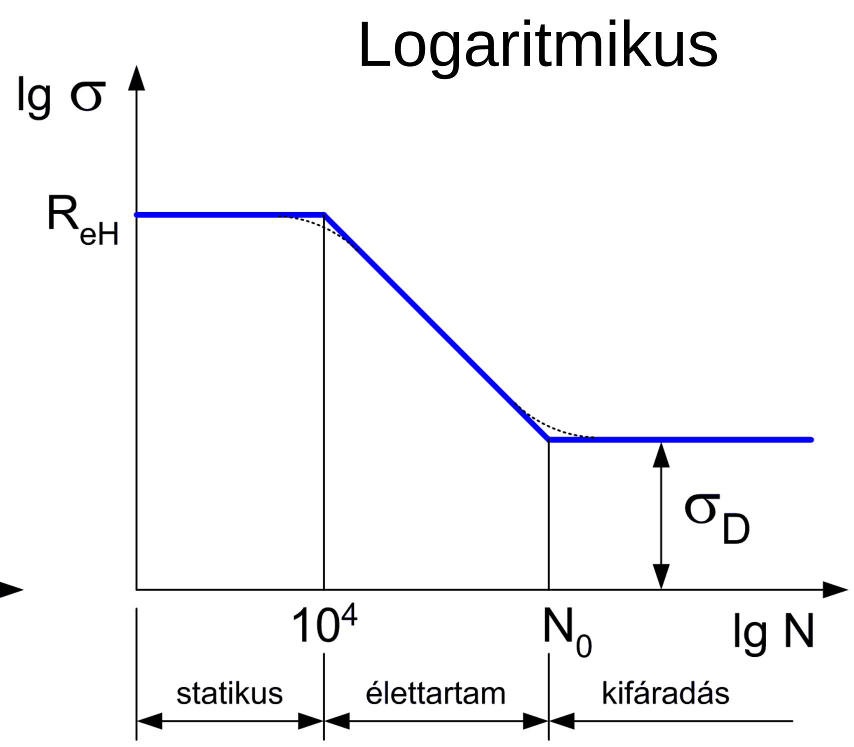




Statisztikai megközelítés: P törési valószínűség.
Minden törési valószínűséghez más Wöhler-görbe tartozik.
Túlélési valószínűség: Q=1-P.

Wöhler-görbe





N_0: kifáradási ciklusszám

N_B: bázis ciklusszám

A Wöhler-görbe egyenlete

- Basquin, 1910: $\sigma = b\,N^{-a}$
- Nem tartalmazza a végtelen ciklusszámhoz tartozó kifáradási határt
- Pontosabb leírást ad a négy paraméteres összefüggés:

$$\sigma = \sigma_D + b(B+N)^{-a}$$

- Weibull, 1961: $(\sigma - \sigma_D)^{\mu}\,N = K$

Befolyásoló tényezők

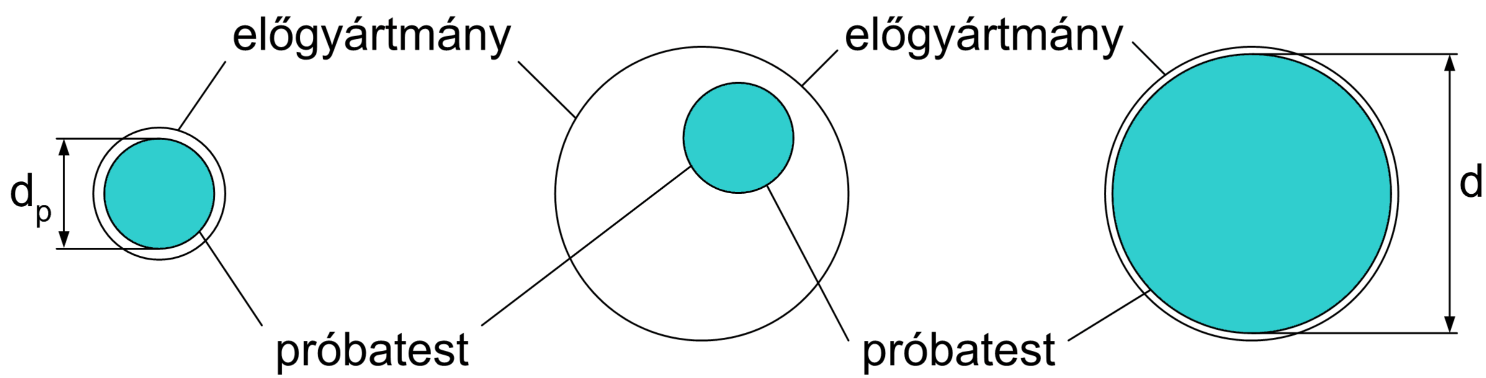
A kifáradási határt az alábbi tényezők befolyásolják:

- Vizsgálati frekvencia
- Alkatrész mérete
- Felület minősége (érdesség)
- Felületszilárdító eljárások
- Bemetszések, feszültséggyűjtő helyek
- Hőmérséklet
- Középfeszültség

Vizsgálati frekvencia

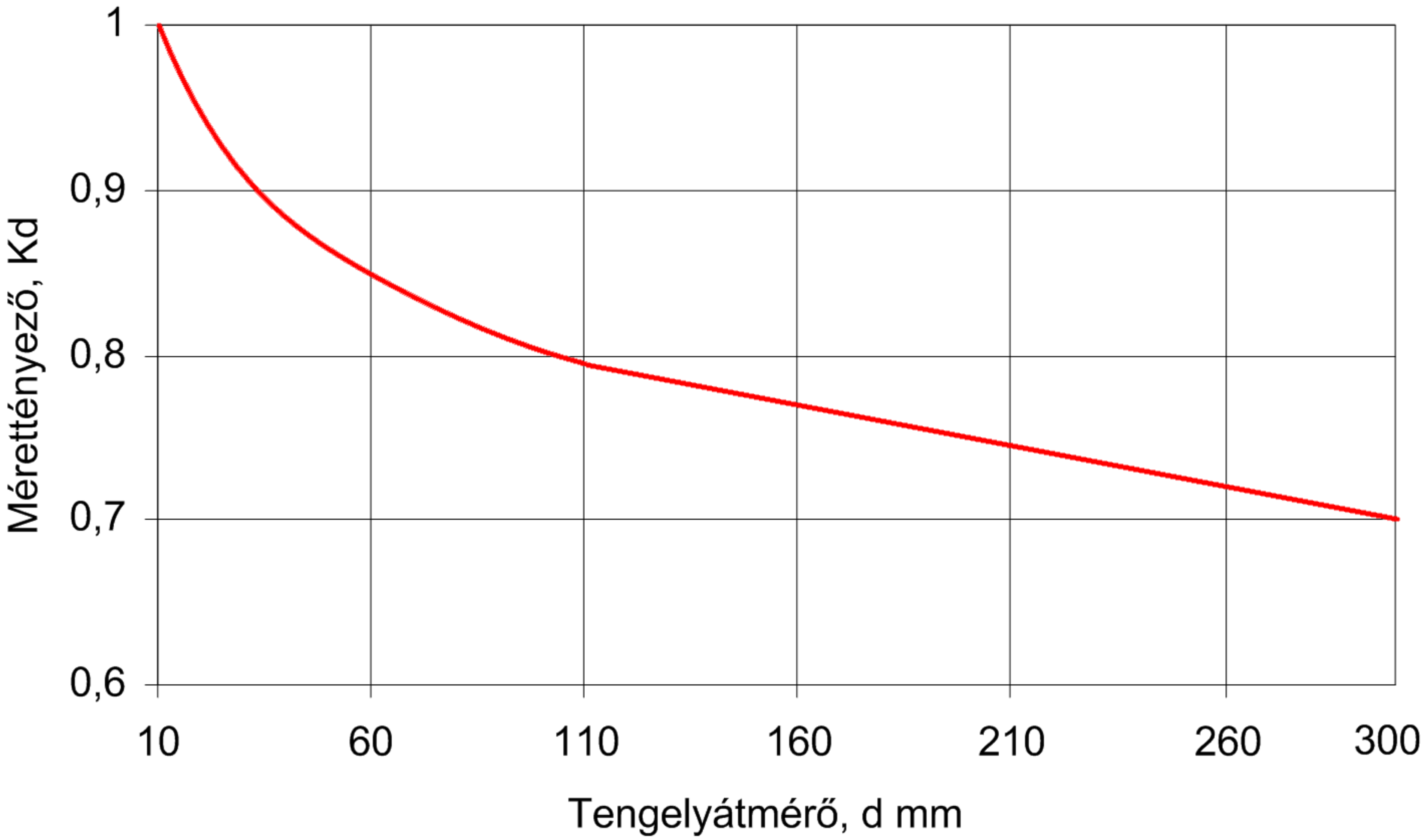
- A kérdést a nagyfrekvenciás fárasztás megjelenése vetette fel
- Mintegy 8000/min frekvenciáig a kifáradási határ nagysága független a vizsgálati frekvenciától
- Nagyobb vizsgálati frekvencia esetén a kifáradási határ lassan emelkedik

Mérettényező

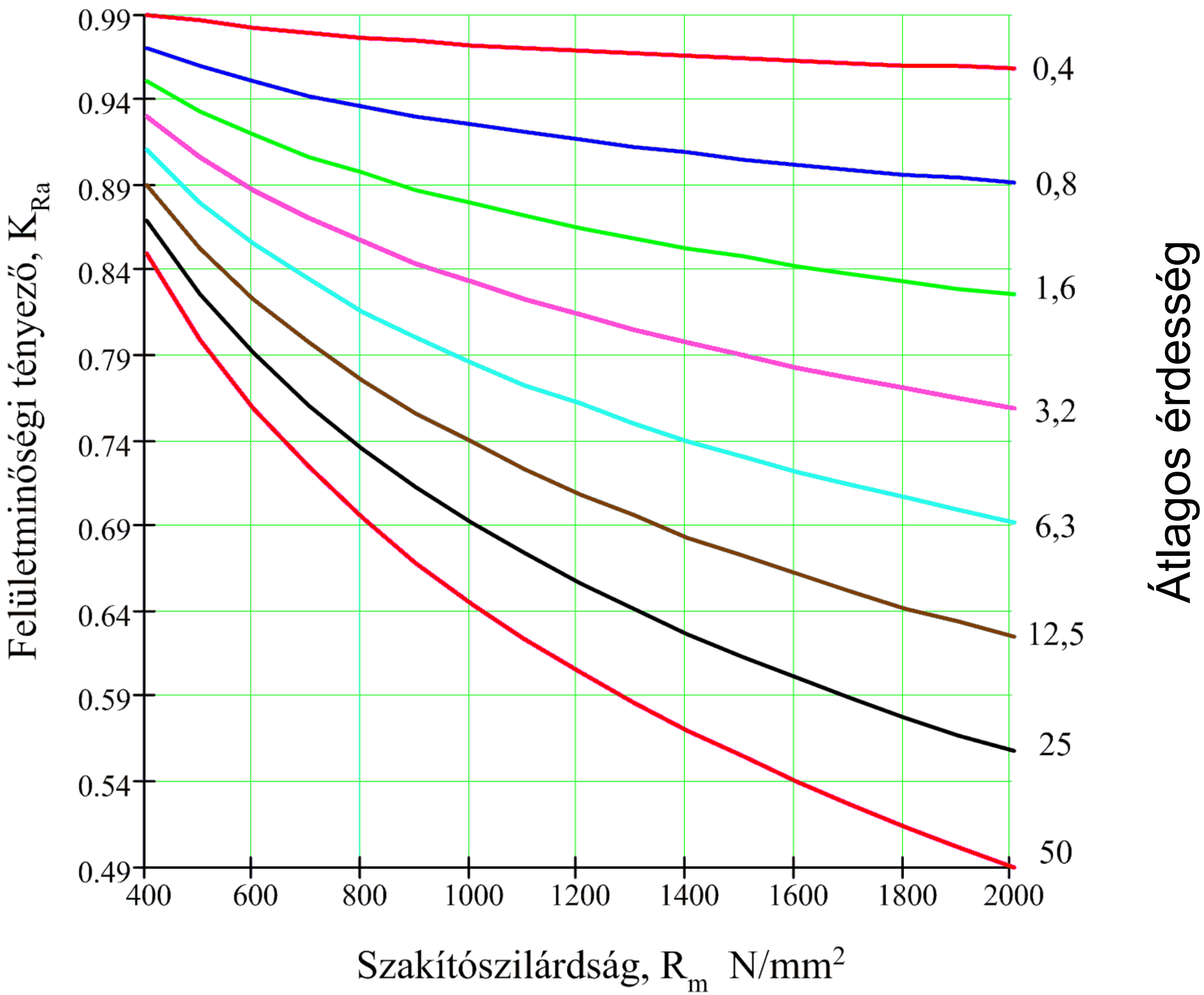


d_p: a próbatest mérete
d: az alkatrész mérete
$K_1(d)$: technológiai mérettényező
$K_2(d)$: geometriai mérettényező

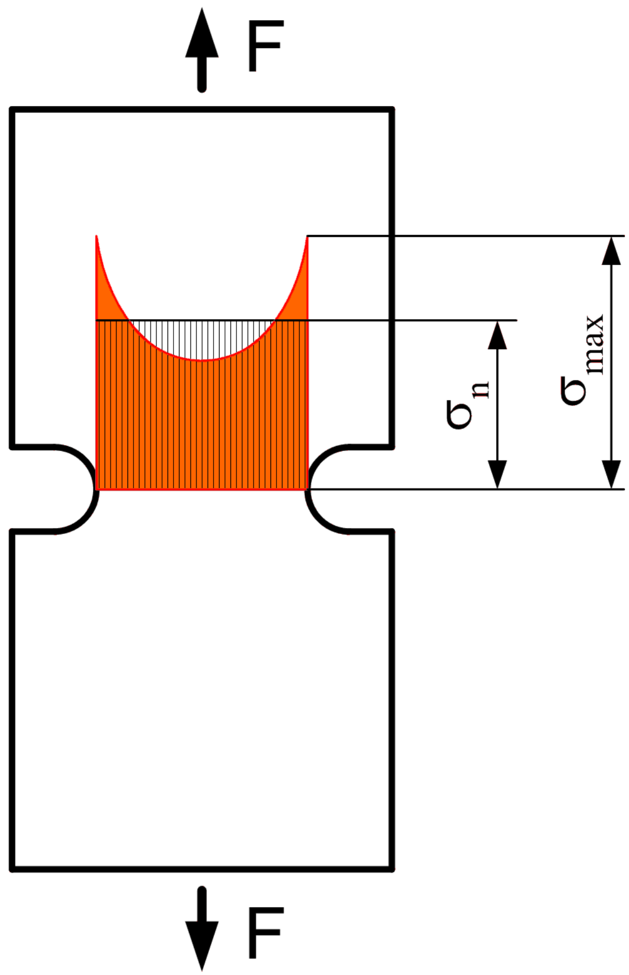
Mérettényező



Érdességi tényező



Feszültségtorlódás



Alaktényező:

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n}$$

$K_t > 1$

Horonytényező:

$$K_{f\sigma} = \frac{\sigma_{D,sima}}{\sigma_{D,hornyolt}}$$

$K_{f\sigma} > 1$ $K_{f\sigma} < K_t$

Hőmérséklet

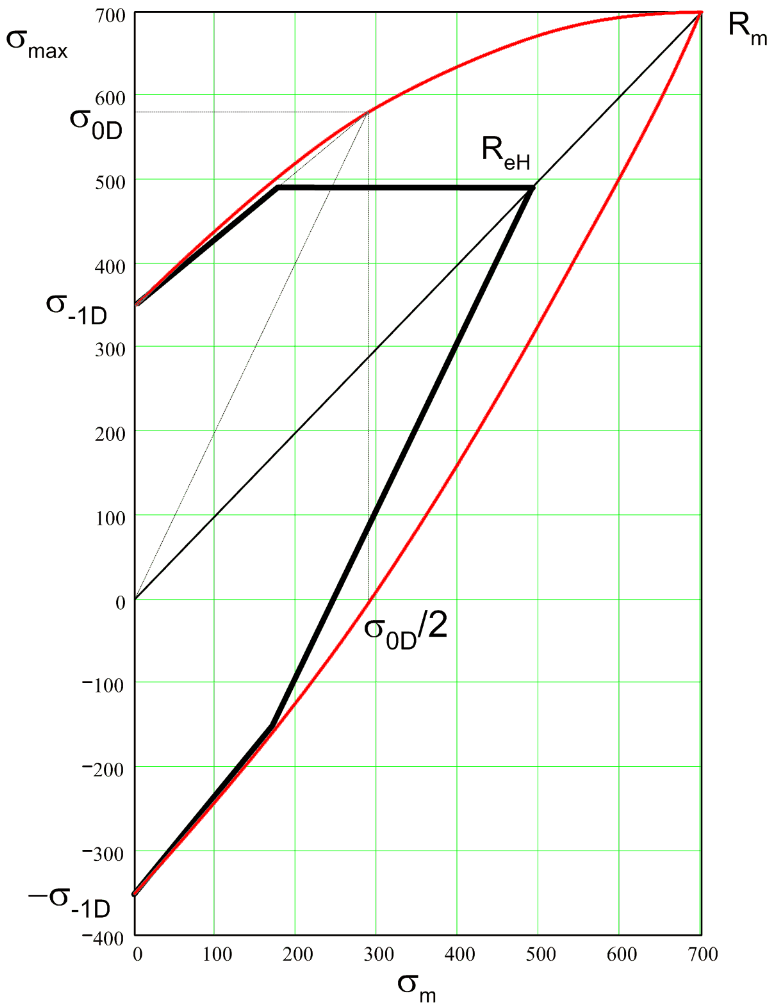
- Alacsonyabb hőmérsékleten bizonyos megszilárdulás tapasztalható, amely növeli a kifáradási határt
- Egy hőmérséklethatár felett a növekvő hőmérséklethez csökkenő kifáradási határ tartozik

Felületszilárdító eljárások

- Görgőzés
- Sörétezés
- Felületedzés
- Nitridálás
- Karbonitridálás
- Betétedzés

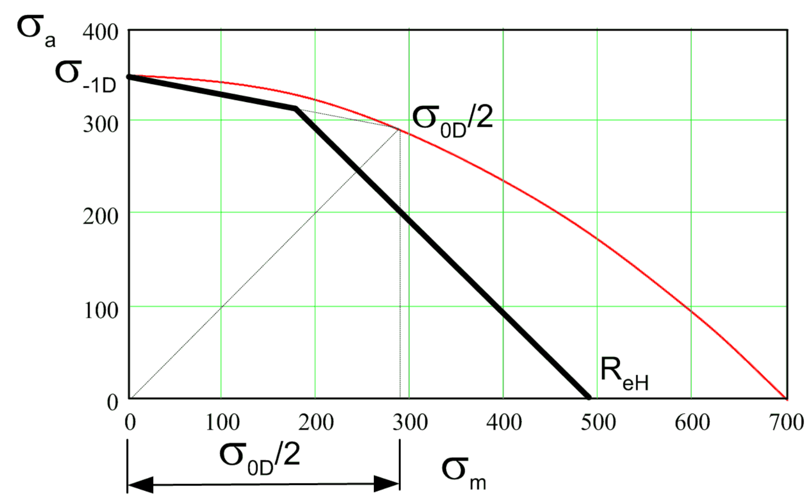
növelik a kifáradási határt

Kifáradási biztonsági területek

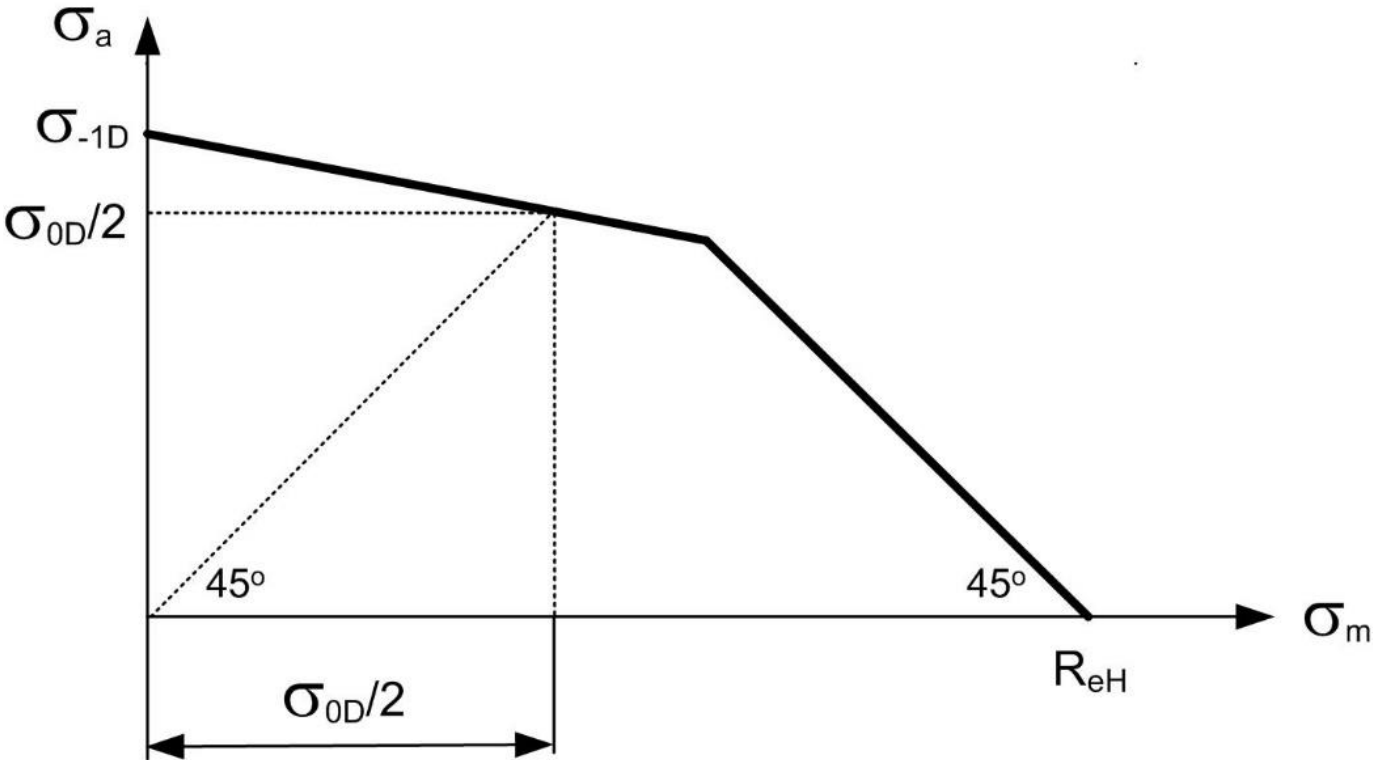


Smith-diagram

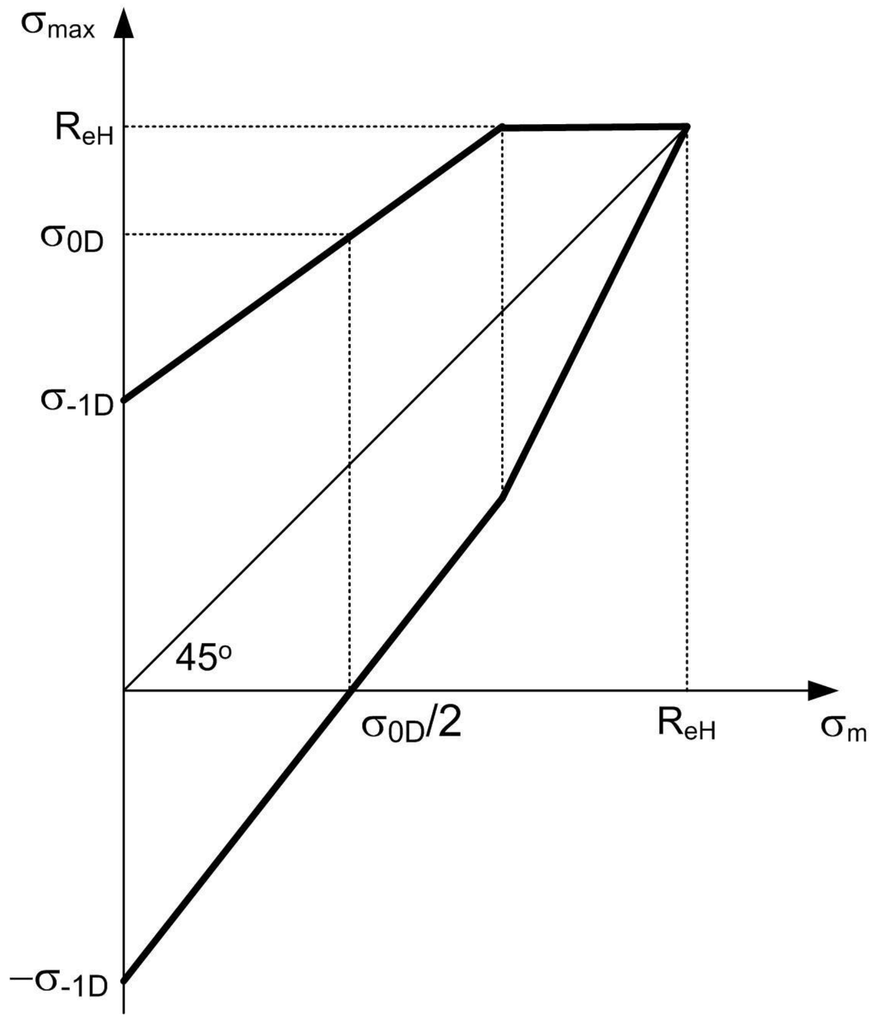
Haigh-diagram



Haigh-diagram

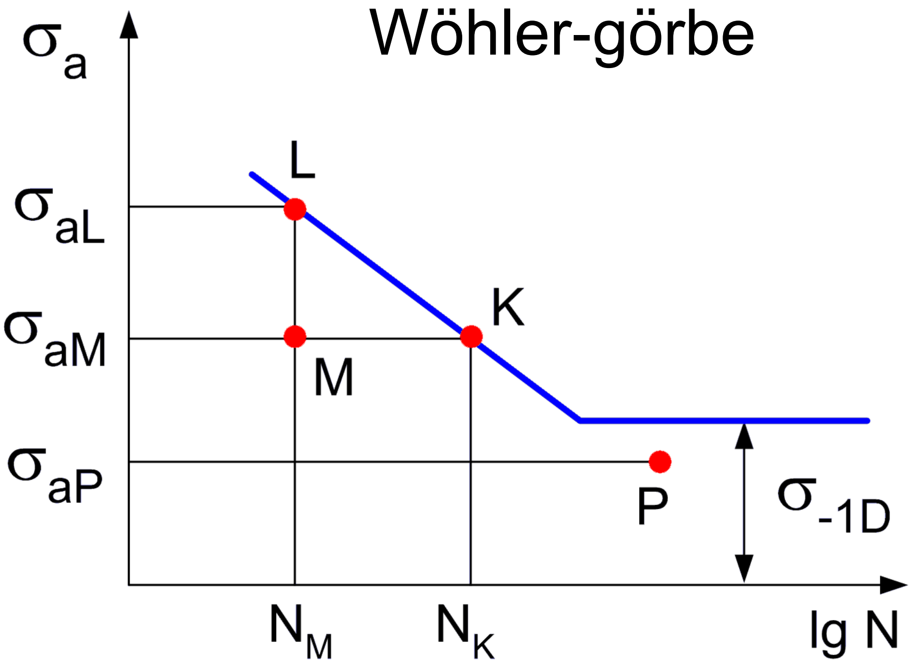


Smith-diagram



Biztonsági tényező

- Tiszta lengő igénybevétel (σ_m=0)



Szilárdsági biztonság:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{aL}}{\sigma_{aM}}$$

Élettartam biztonság:

$$n_N = \frac{N_K}{N_M}$$

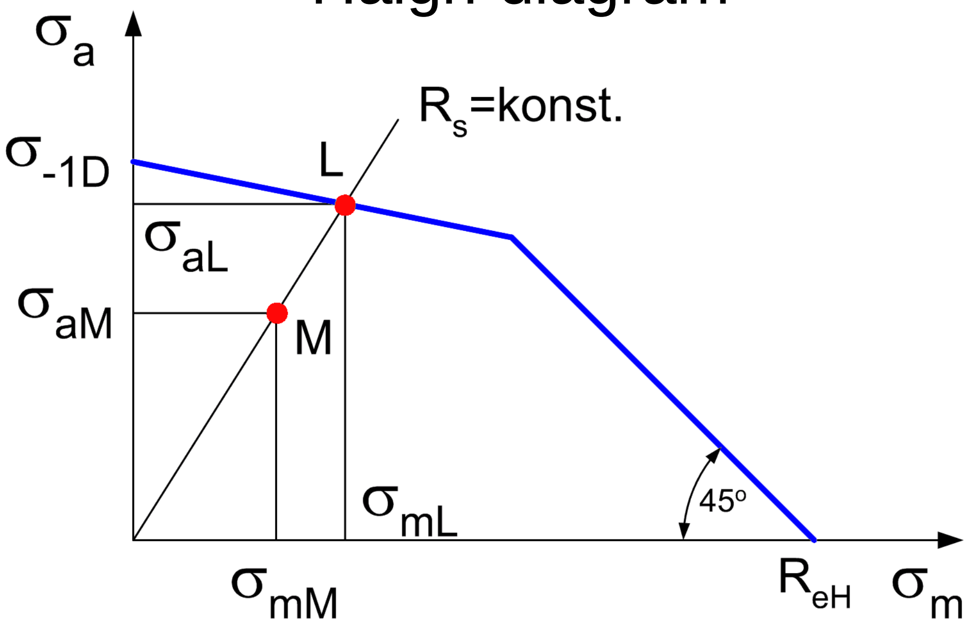
Kifáradási biztonság:

$$n_D = \frac{\sigma_{-1D}}{\sigma_{aP}}$$

Biztonsági tényező

- Aszimmetrikus igénybevétel: van középfeszültség és az amplitudó arányosan változik a középfeszültséggel

Haigh-diagram



$$n_D = \frac{\sigma_{\max L}}{\sigma_{\max M}} = \frac{\sigma_{aL}}{\sigma_{aM}} = \frac{\sigma_{mL}}{\sigma_{mM}}$$

Biztonsági tényező

$$1.\ \sigma_a = \sigma_{-1D} - \frac{\sigma_{-1D} - \frac{\sigma_{0D}}{2}}{\frac{\sigma_{0D}}{2}} \sigma_m, \quad 2.\ \sigma_a = \frac{\sigma_{aM}}{\sigma_{mM}} \sigma_m,$$

$$\frac{\sigma_{aM}}{\sigma_{mM}} \sigma_{mL} = \sigma_{-1D} - \frac{2\sigma_{-1D} - \sigma_{0D}}{\sigma_{0D}} \sigma_{mL}, \quad \sigma_{mL} = \frac{\sigma_{-1D}}{\frac{\sigma_{aM}}{\sigma_{mM}} + \frac{2\sigma_{-1D} - \sigma_{0D}}{\sigma_{0D}}}$$

$$n_D = \frac{\sigma_{mL}}{\sigma_{mM}} = \frac{\sigma_{-1D}}{\sigma_{aM} + \frac{2\sigma_{-1D} - \sigma_{0D}}{\sigma_{0D}} \sigma_{mM}}$$

Biztonsági tényező

- Haigh-diagram alapján

Kifáradási biztonság:

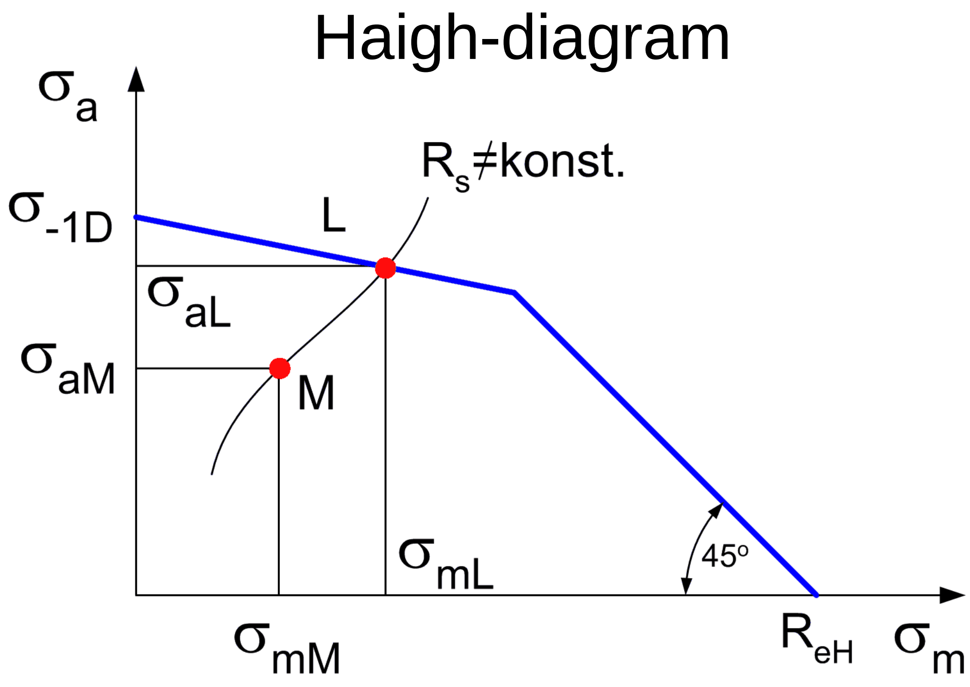
$$n_D = \frac{\sigma_{-1D}}{\sigma_{aM} + \dfrac{2\sigma_{-1D} - \sigma_{0D}}{\sigma_{0D}}\sigma_{mM}}$$

Folyási biztonság:

$$n_F = \frac{R_{eH}}{\sigma_{aM} + \sigma_{mM}} = \frac{R_{eH}}{\sigma_{\max M}}$$

Biztonsági tényező

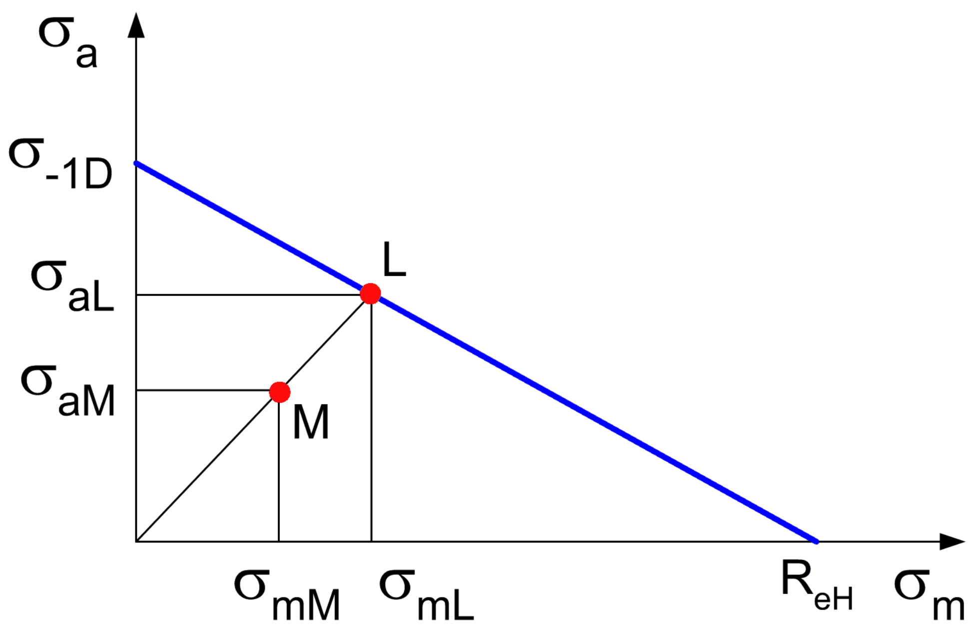
- Aszimmetrikus igénybevétel: van középfeszültség, de az amplitudó nem arányosan változik a középfeszültséggel



$$n_D = \frac{\sigma_{\max L}}{\sigma_{\max M}}$$

Biztonsági tényező

- Soderberg-féle biztonsági terület

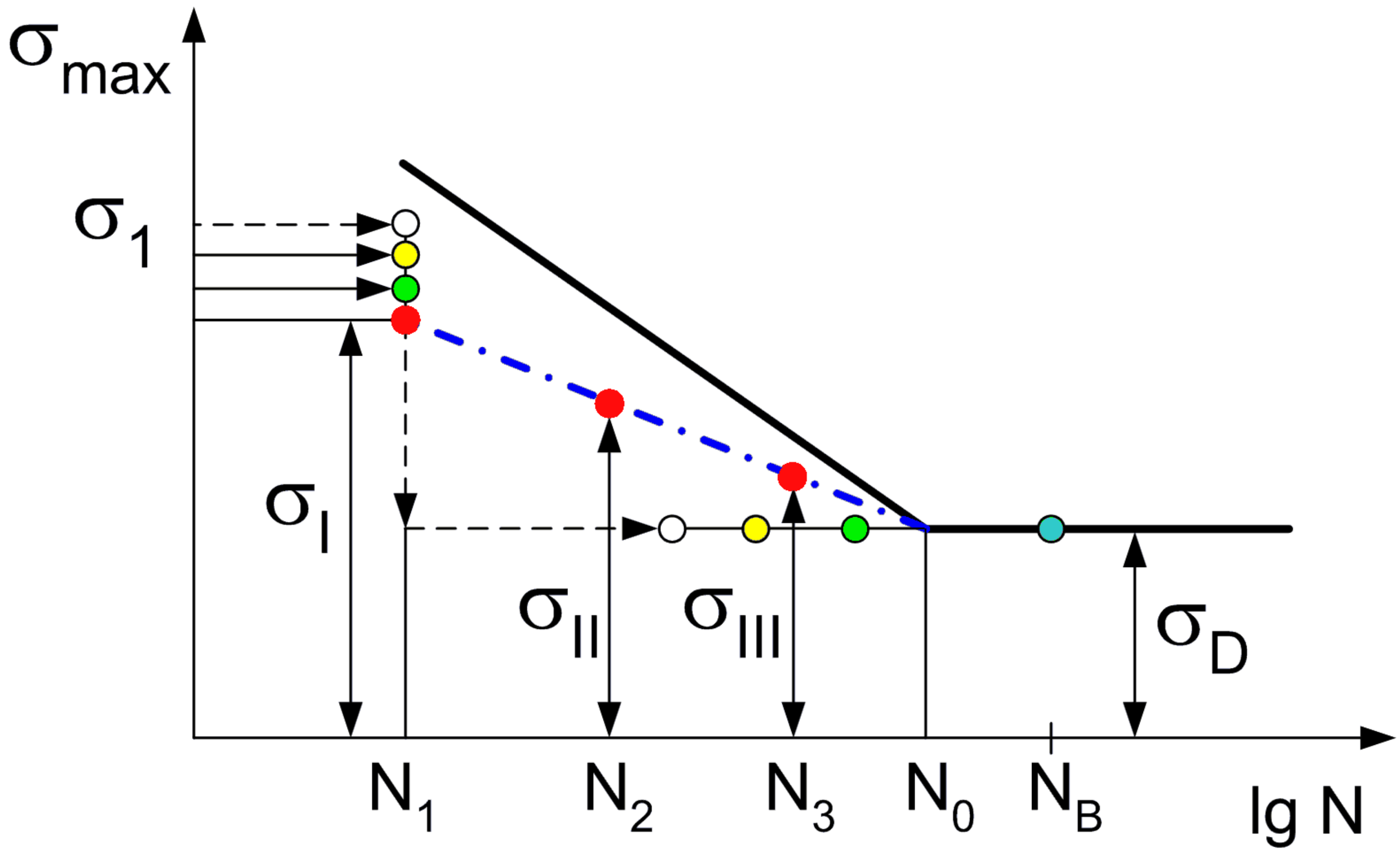


$$n_D = \frac{1}{\dfrac{\sigma_{aM}}{\sigma_{-1D}} + \dfrac{\sigma_{mM}}{R_{eH}}}$$

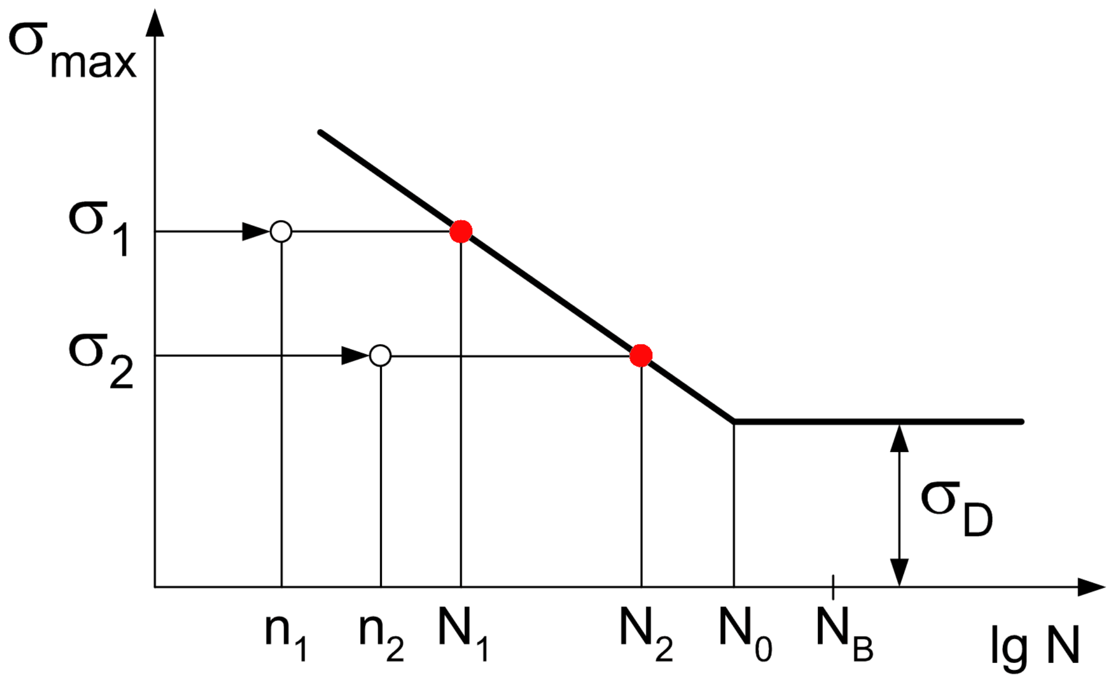
Túlterhelés hatása

- Túlterhelés: valamely szilárdsági jellemző túllépése
- Statikus terhelésnél: a folyáshatárnál nagyobb feszültség
- Kifáradásnál: a kifáradási határt meghaladó feszültség
- Károshatás vonala

Károshatás vonala



Károsodás foka



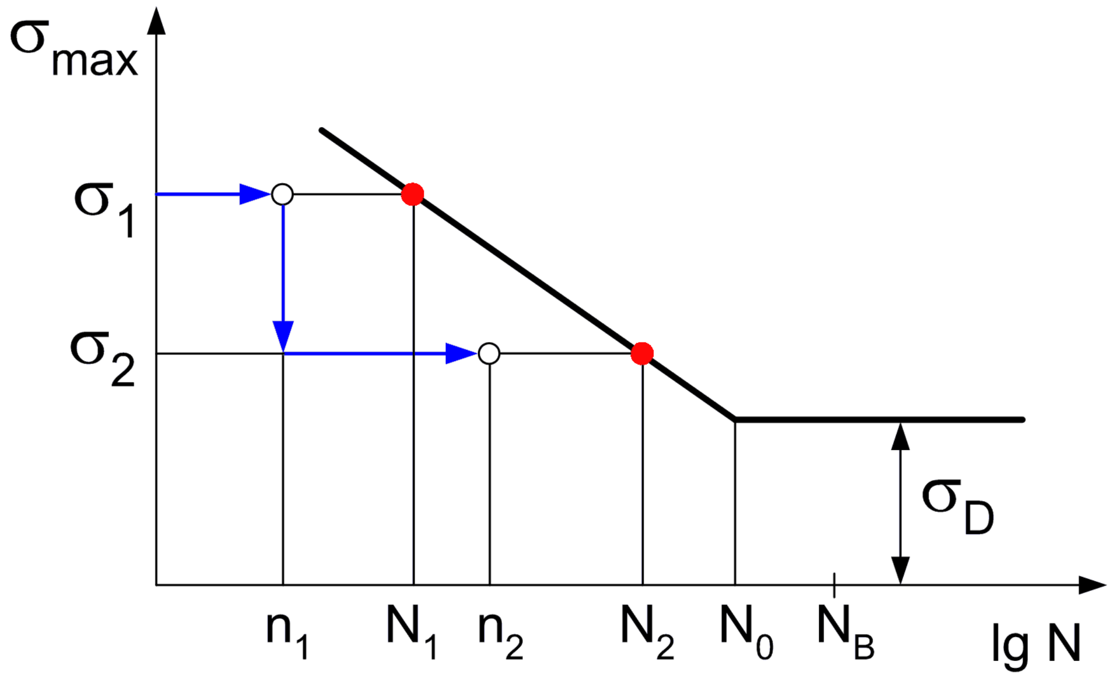
$$D_{n1} = \frac{n_1}{N_1}$$

$$D_{n2} = \frac{n_2}{N_2}$$

$$D_{ni} = \frac{n_i}{N_i}$$

Élettartam változása

$$L=\frac{N_2-n_2}{N_2}=1-D_{n2}$$



Károsodások halmozódása

- Egy adott σ terhelésszinten minden terhelés ismétlés ΔD mértékű károsodást okoz
- Általános esetben ΔD nem állandó
- n terhelés ismétlés után a károsodás mértéke:

$$D_n = \sum_1^n \Delta D$$

- Legyen N a töréshez tartozó ciklusszám
- Ekkor a károsodás mértéke:

$$D_N = \sum_1^N \Delta D$$

Károsodások halmozódása

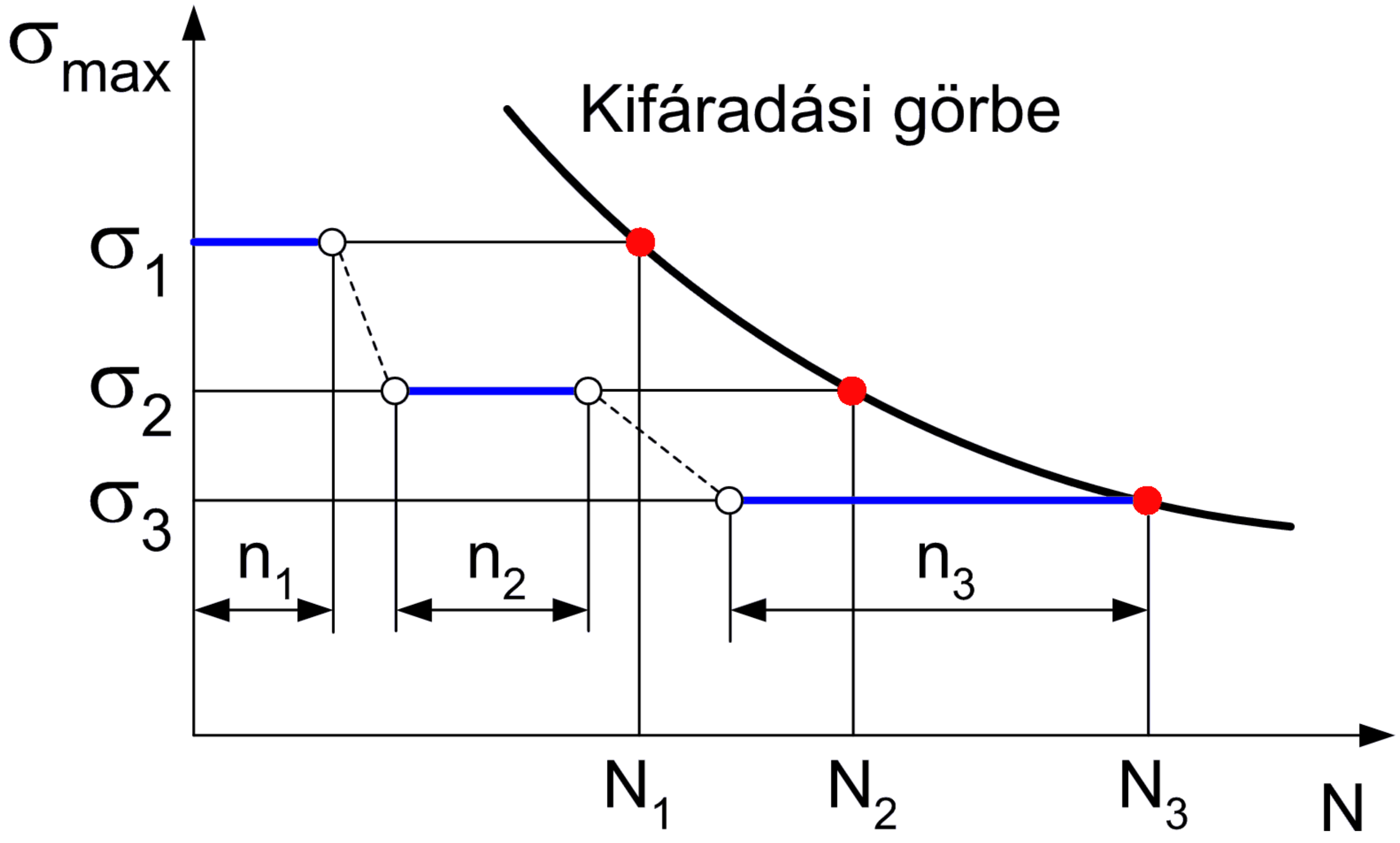
- Feltételezzük, hogy D_n változása folytonos, minimális értéke 0, maximális értéke 1
- Ha n=0, akkor $D_n=0$ (egyetlen terhelés sem történt)
- Ha n=N, akkor $D_n=D_N=1$ (törés)
- Hogyan változik a károsodási függvény a két határ között?
- Palmgren – Miner lineáris halmozódási elmélet
- Adott feszültségszinten minden terhelési ciklus azonos mértékű károsodást okoz

Károsodások halmozódása

- $D_n = n\,\Delta D$
- $D_N = N\,\Delta D = 1$ ebből $\Delta D = 1/N$
- Behelyettesítve: $D_n = n/N$, ami a károsodás foka adott feszültségszinten
- k számú különböző terhelési szint esetén a törésig felhalmozott károsodás:

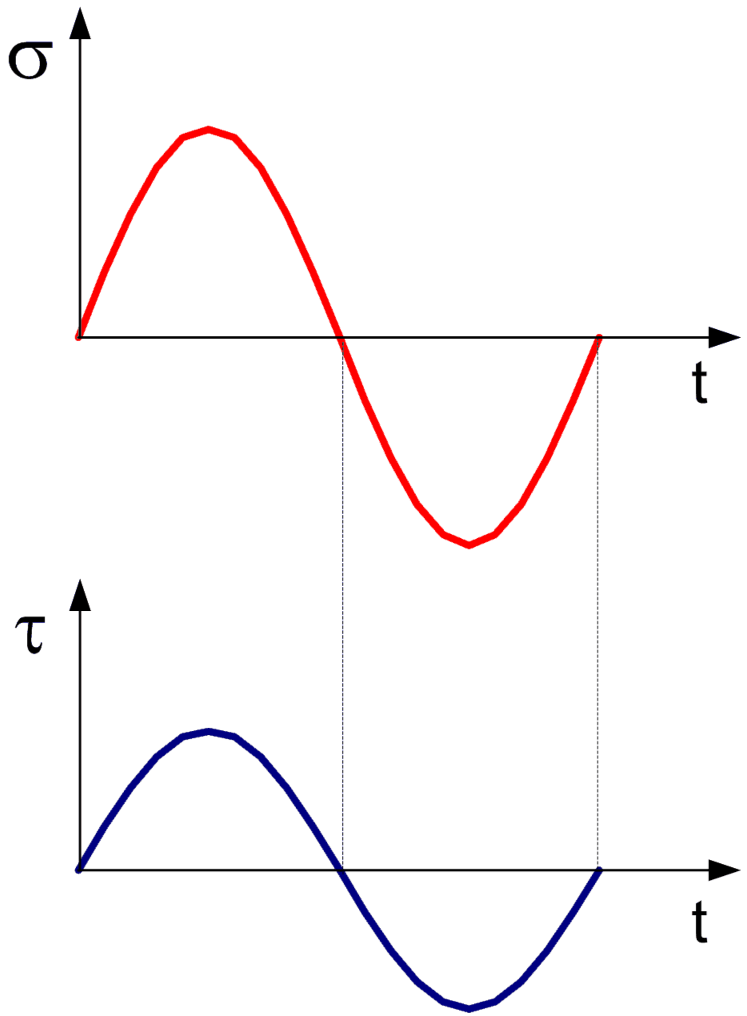
$$\sum_{i=1}^{k} \frac{n_i}{N_i} = \sum_{i=1}^{k} D_{ni} = 1$$

Károsodások halmozódása

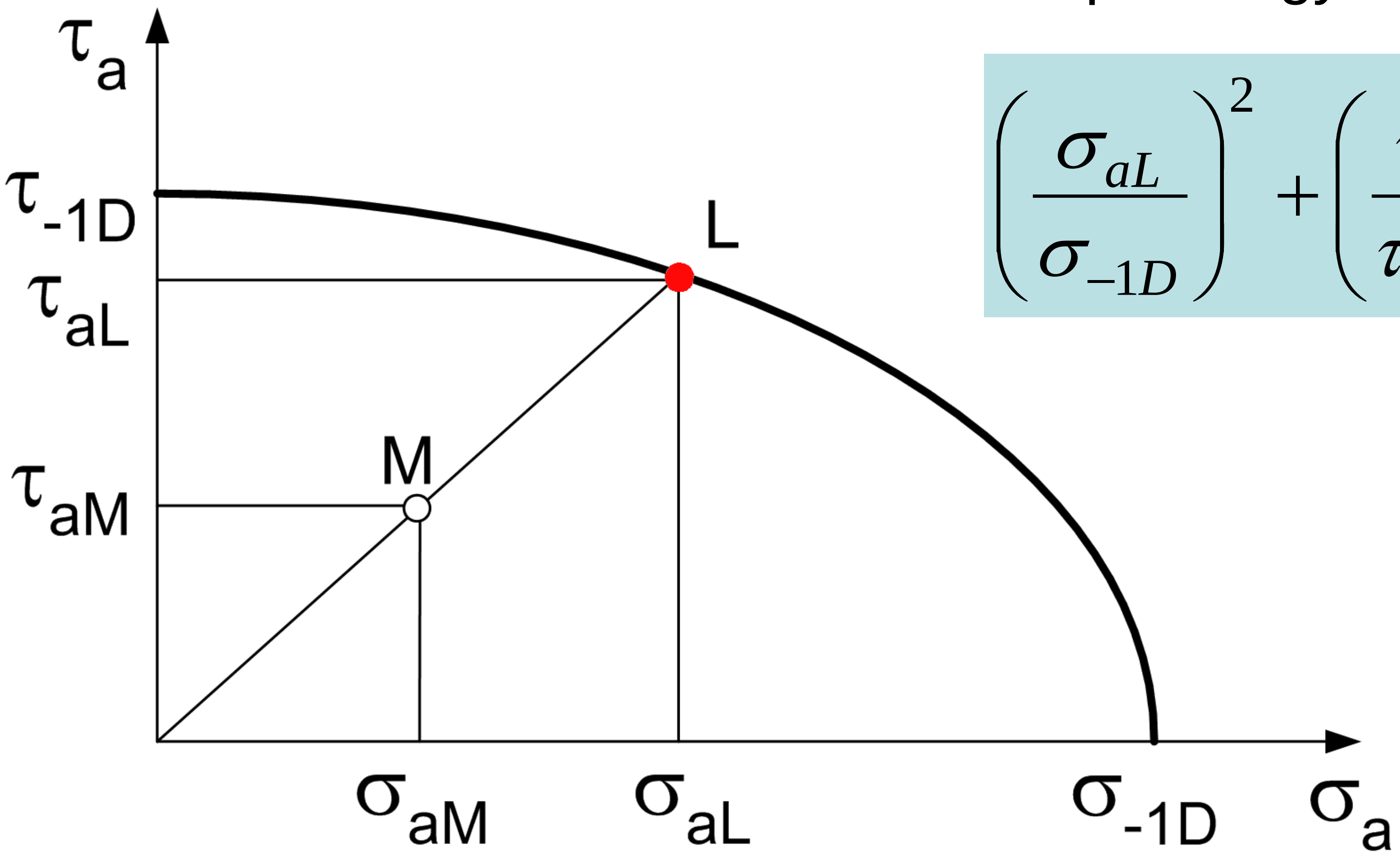


Összetett igénybevétel

- Tiszta lengő igénybevétel
- A normális és a csúsztatófeszültségek fázisban változnak
- A biztonsági terület jó közelítéssel negyed ellipszis



Biztonsági terület



Ellipszis egyenlete:

$$\left(\frac{\sigma_{aL}}{\sigma_{-1D}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{aL}}{\tau_{-1D}}\right)^2 = 1$$

Biztonsági tényező

$$\sigma_{aL} = n_D \, \sigma_{aM}$$

$$\tau_{aL} = n_D \, \tau_{aM}$$

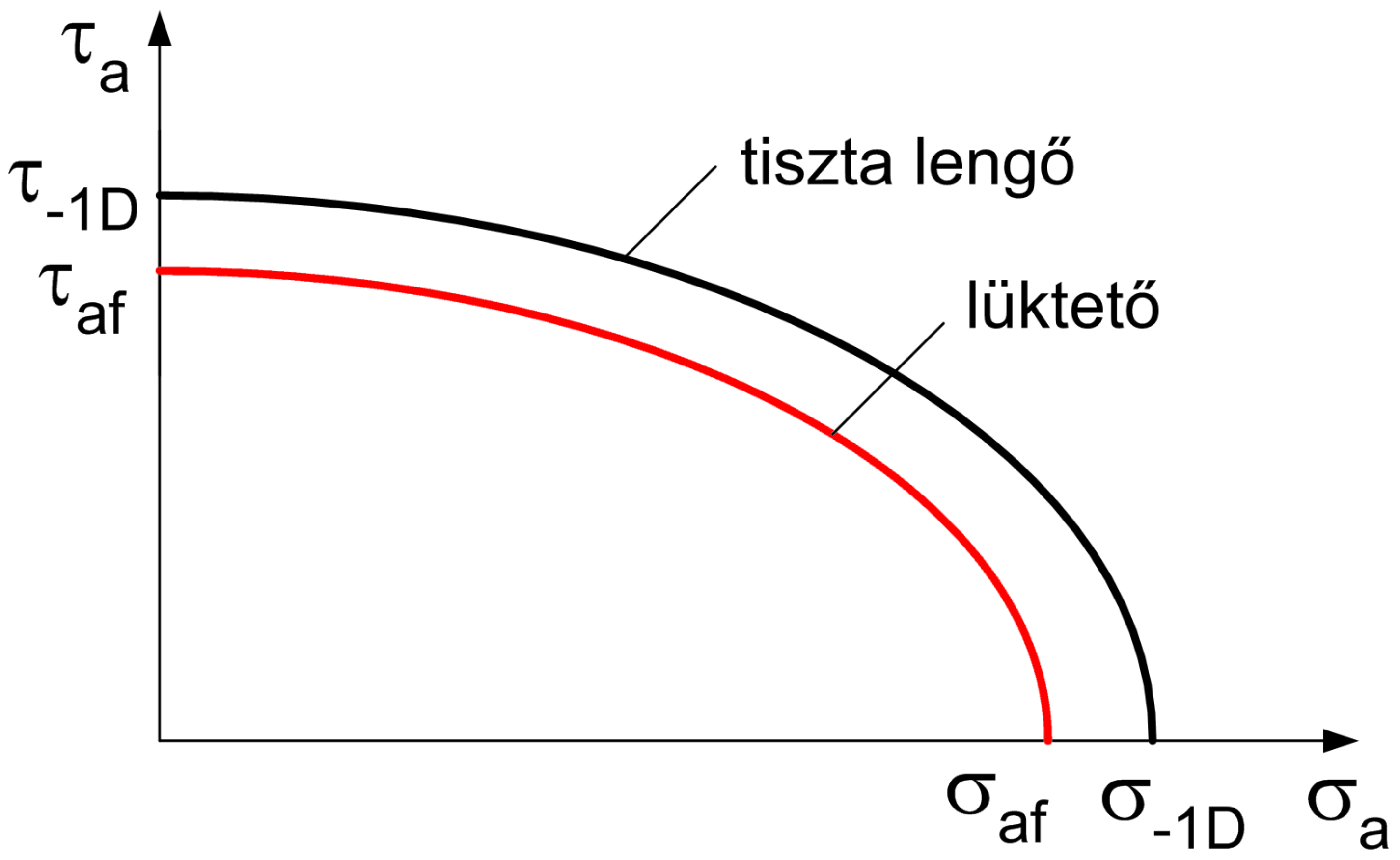
$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1D}}{\sigma_{aM}}$$

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1D}}{\tau_{aM}}$$

$$\left(\frac{n_D}{n_\sigma}\right)^2 + \left(\frac{n_D}{n_\tau}\right)^2 = 1$$

$$n_D = \frac{n_\sigma \, n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}}$$

Lüktető igénybevétel



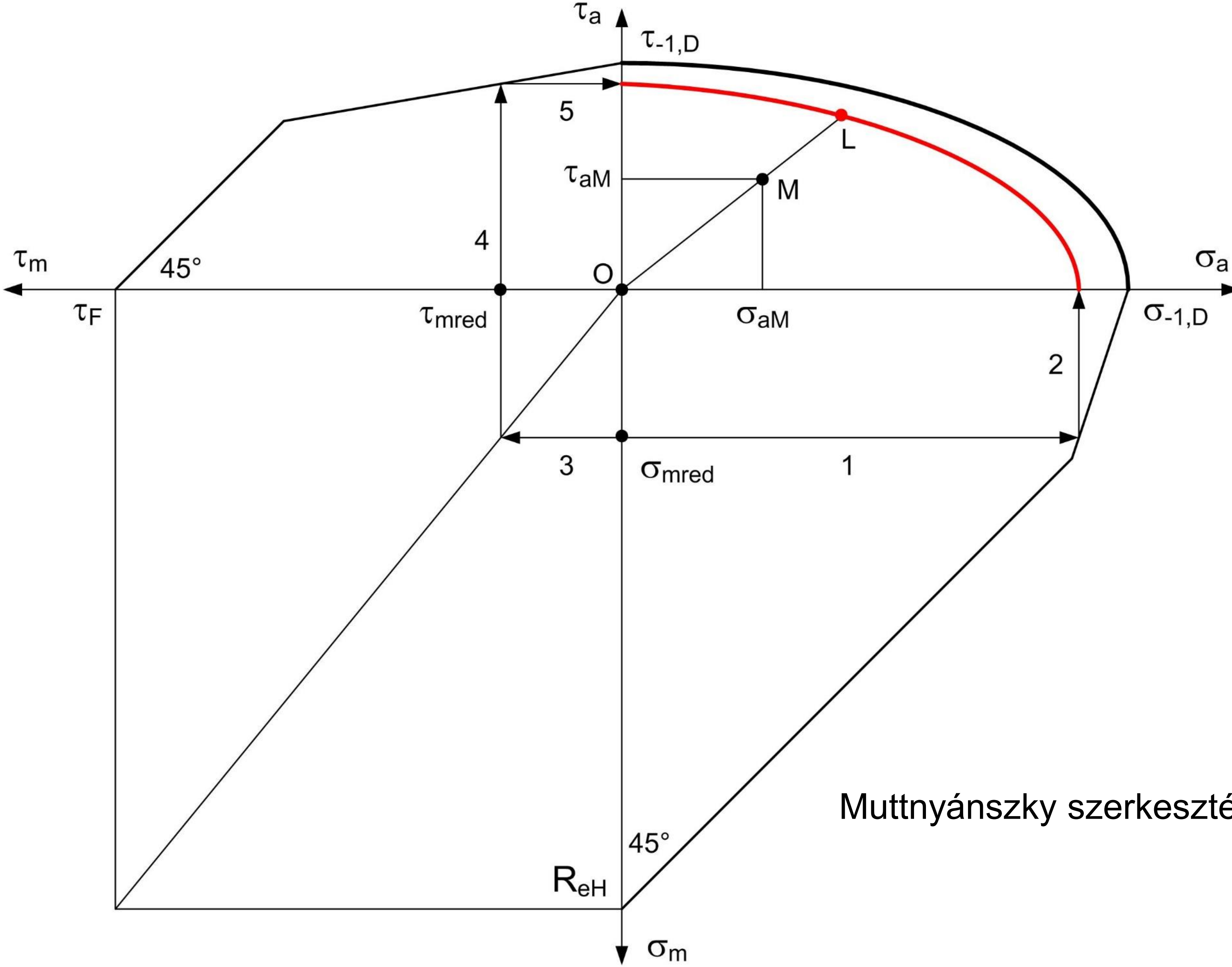
Muttnyánszky szerkesztés

A terhelés növekedése során a középfeszültség állandó marad.

$$\sigma_{mred} = \sqrt{\sigma_m^2 + a^2 \tau_m^2}$$

$$a = \frac{R_{eH}}{\tau_F}$$

$$\tau_{mred} = \frac{\tau_F}{R_{eH}} \sigma_{mred} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_m}{a}\right)^2 + \tau_m^2}$$



Muttnyánszky szerkesztés

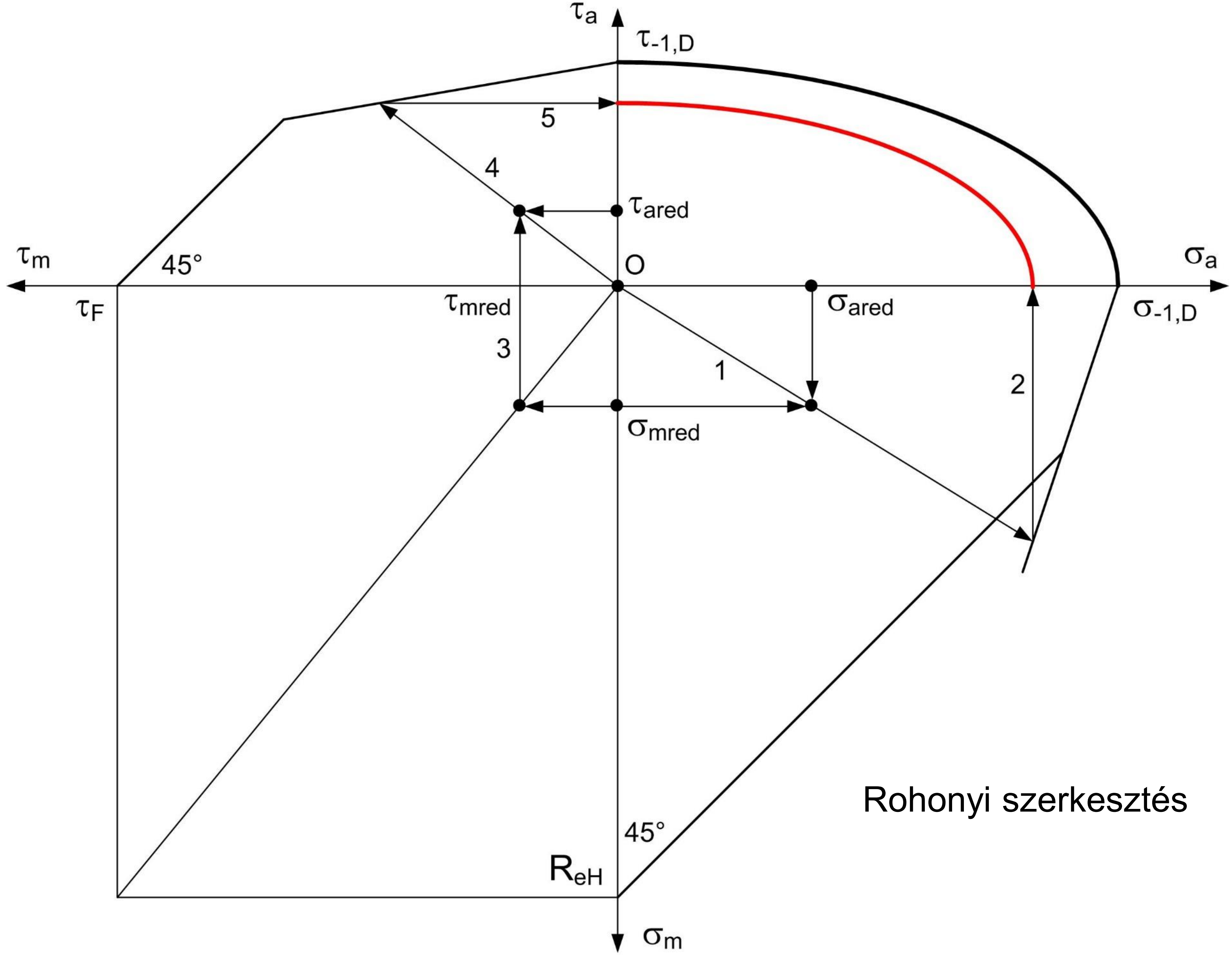
Rohonyi szerkesztés

A terhelés növekedése során a középfeszültség és az amplitúdó arányosan nőnek.

$$\sigma_{mred} = \sqrt{\sigma_m^2 + a^2 \tau_m^2} \qquad \sigma_{ared} = \sqrt{\sigma_a^2 + \bar{a}^2 \tau_a^2}$$

$$a = \frac{R_{eH}}{\tau_F} \qquad \bar{a} = \frac{\sigma_{-1,D}}{\tau_{-1,D}}$$

$$\tau_{mred} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_m}{a}\right)^2 + \tau_m^2} \qquad \tau_{ared} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{\bar{a}}\right)^2 + \tau_a^2}$$



Rohonyi szerkesztés