

A beton kúszása és ernyedése

A kúszás és ernyedés reológiai fogalmak. A **reológia** görög eredetű szó, és ebben az értelmezésben az anyagoknak az idő folyamán lejátszódó változásait vizsgáló műszaki tudományág megnevezése.

A **kúszás** állandó hőmérsékleten, a tartós (időben változatlan) terhelőerő hatására fellépő, időben változó alakváltozás, amely kezdetben gyorsabban, később lassabban nő, míg évek múlva aszimptotához tart.

A kúszás ($\epsilon_{\text{kúszás}}$) a terhelés okozta pillanatnyi alakváltozással (ϵ_0) és a zsugorodással (ϵ_{zs}) együtt a **tartós alakváltozást** (ϵ_t) teszi ki:

$$\epsilon_t = \epsilon_0 + \epsilon_{\text{zs}} + \epsilon_{\text{kúszás}} \quad \text{és} \quad \epsilon_{\text{kúszás}} = \epsilon_t - \epsilon_0 - \epsilon_{\text{zs}}$$

A **beton lassú alakváltozása** ($\epsilon_{\text{lassú}}$) a beton *zsugorodásának* és *kúszásának* együttes jelensége (*dr. Palotás László* professzor terminológiája):

$$\epsilon_{\text{lassú}} = \epsilon_{\text{zs}} + \epsilon_{\text{kúszás}}$$

Meg kell jegyezni, hogy *dr. Balázs György* prof. emeritus a lassú alakváltozás kifejezést a kúszás szinonimájaként használja.

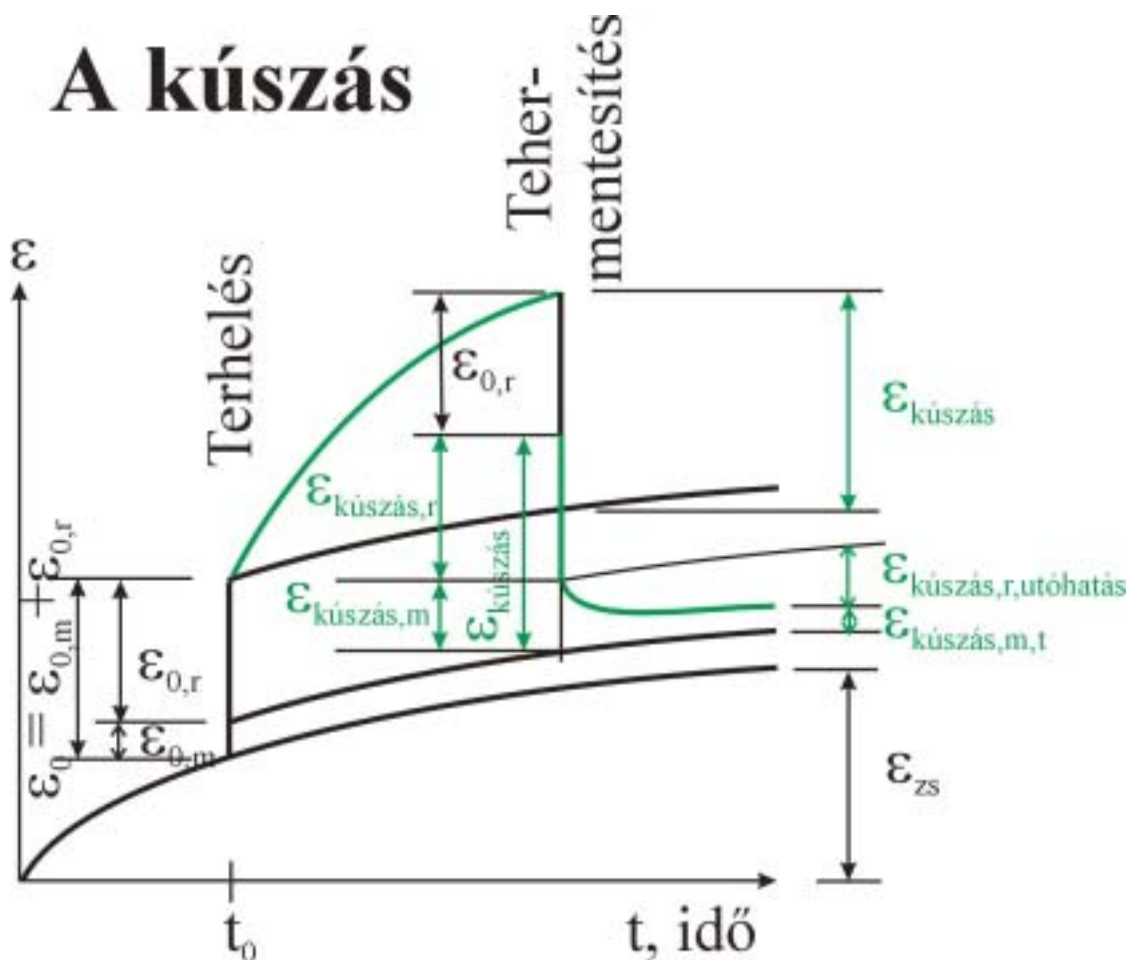
A következő ábrán a kúszás folyamata látható az idő függvényében. Ha a megterhelt betont bizonyos idő elteltével tehermentesítjük, akkor az nem nyeri vissza eredeti alakját, mert a tartós alakváltozás (ϵ_t) egy része maradó alakváltozás ($\epsilon_{\text{t,m}}$), amely a zsugorodásból (ϵ_{zs}), a terhelés okozta pillanatnyi alakváltozás (ϵ_0) maradó részéből ($\epsilon_{0,m}$) és a kúszás maradó alakváltozásából ($\epsilon_{\text{kúszás,m}}$) tevődik össze:

$$\epsilon_{\text{t,m}} = \epsilon_{\text{zs}} + \epsilon_{0,m} + \epsilon_{\text{kúszás,m}}$$

Tehermentesítés után, az idő folyamán a kúszás maradó alakváltozásának egy része rugalmasan visszaalakul, - ezt a **kúszás rugalmas utóhatásának** nevezik ($\epsilon_{\text{kúszás,r,utóhatás}}$) - ezért a tartós alakváltozás maradó részének végértéke:

$$\epsilon_{\text{t,m},\infty} = \epsilon_{\text{zs}} + \epsilon_{0,m} + \epsilon_{\text{kúszás,m}} - \epsilon_{\text{kúszás,r,utóhatás}}$$

A kúszás

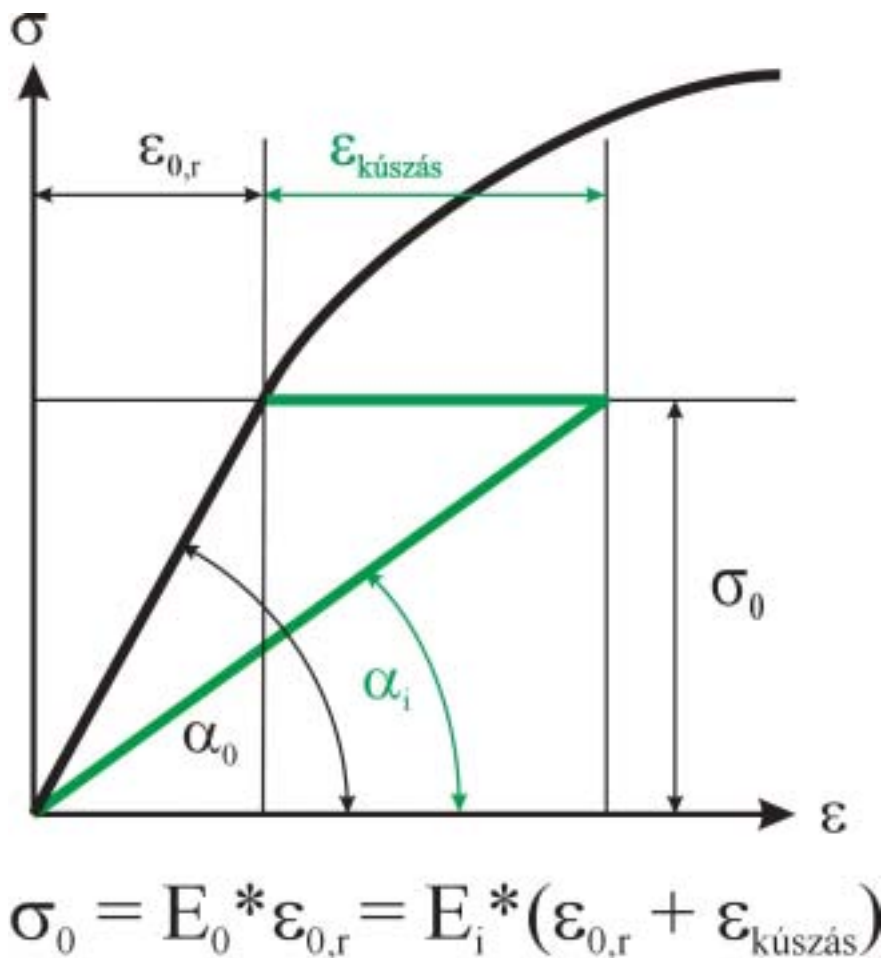


A beton kúszását a méretezés során úgy vesszük figyelembe, hogy tartós terhelés esetén a kezdeti rugalmassági modulus (E_0) helyett az „ideális” rugalmassági modulussal (E_i) számolunk:

$$E_i = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_{0,r} + \varepsilon_{kúszás}} = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_{0,r}} * \frac{1}{1 + \frac{\varepsilon_{kúszás}}{\varepsilon_{0,r}}} = E_0 * \frac{1}{1 + \varphi}$$

ahol:

$$\varphi = \varepsilon_{kúszás} / \varepsilon_{0,r} \text{ a kúszási tényező}$$



A kűszási tényező időbeli változását a következő összefüggés adja meg (MSZ 15022-1:1986):

$$\varphi_t = \varphi_\infty \left[1 - e^{-(t/w)^z} \right]$$

ahol:

φ_∞ = a kűszás végértéke

t = a teher fellététől számított idő napokban

w = $1,8 * v_{ef} * z$

v_{ef} = a szerkezeti elem „hatásos vastagsága” mm-ben, amely általában a keresztmetszet kétszeres területének és párolgni képes területének a hányadosa, kétoldalt párolgó szerkezet esetén annak vastagsága

z = $\sqrt{v_{ef} / 1000}$

A közönséges (normál) beton kúszási tényezőjének tervezési végértékét az Eurocode-2 (BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke: Oktatási segédlet, 1997. február) 3.3. táblázata a szerkezeti elem „hatásos vastagságától” (v_{ef}) függően (kisebb „hatásos vastagság”-hoz nagyobb kúszási tényező tartozik) például a következő határértékekkel adja meg:

Kúszási tényező végértéke, közelítő tervezési érték		
A beton kora a megterheléskor, t_0	Nedves környezet	Száraz környezet
28 nap	1,5 - 1,9	2,0 - 3,0
365 nap	1,0 - 1,1	1,2 - 1,8

A beton illetve vasbeton szerkezetek erőtanai tervezésével foglalkozó MSZ 15022/3:1986 illetve MSZ 15022/1:1986 szabványok például azt mondták ki, hogy a kúszási tényező közepes végértéke:

Beton nyomószilárdsági osztálya	Kúszási tényező közepes végértéke
C8/10	2,7
C16/20	2,1
C25/30	1,7
C35/45	1,4
C45/55	1,2

Az $1/(1+\varphi)$ tényező egynél kisebb szám, tehát a kúszás olyan folyamatnak tekinthető, mint amely a rugalmassági modulust csökkenti, például a hajlított tartók időbeni lehajlását növeli, így voltaképpen kedvezőtlen jelenség.

A kúszás elsősorban a cementkőben lejátszódó jelenség, mert az adalékanyag kúszása ($\varphi_{kőanyag} < 0,1$) a betonéhoz képest lényegében elhanyagolható.

A tervezési előírásokból és számítási képletekből is látszik, hogy a beton kúszását befolyásolja:

- a beton szerkezeti elem keresztmetszetének alakja;
- a terhelés kezdetének időpontja;
- a környezet relatív páratartalma;

- a friss beton konzisztenciája;
- a megszilárdult beton szilárdsága stb.

A kúszás az egyébként is ajánlott szilárdság növelő intézkedésekkel csökkenthető:

- nagyobb szilárdságú cement;
- jó minőségű adalékanyag;
- kevés keverő víz;
- jó bedolgozás;
- gondos és hosszú idejű nedves utókezelés;
- késői kizsaluzás stb.

A **kúszási határ** a kúszásnak (vagy a lassú alakváltozásnak, amely esetben „lassú alakváltozási határ”-nak nevezik) az a végtelen hosszú időhöz tartozó legnagyobb értéke, amelyet állandó terhelő mellett az anyag éppen törés nélkül viselni képes. A kúszási határhoz tartozó feszültség a **tartós szilárdság**.

A beton **tartós szilárdsága** az az állandó terhelőerő okozta legnagyobb feszültség, amelyet a beton végtelen hosszú ideig törésmentesen elbír. *Palotás professzor* megfogalmazásában: „a tartós szilárdság az a tartós terhelőfeszültség, amely mellett az anyag alakváltozási kapacitása kimerül”.

Az **ernyedés** (σ_e), más szóval **relaxáció** tulajdonképpen a kúszás inverze, „megfordítottja”. Azt a feszültség csökkenést (ernyedést) jelenti, amely az alakváltozás állandó értéken tartásához szükséges.

Azt az időt, amely alatt az ernyedés végértékének ($\sigma_{e,max}$) bizonyos hányada (σ_{rel}) bekövetkezik, **ernyedési (relaxációs) időnek** (t_{rel}) hívják. Ennek értéke igen nagy szám.

