

Tartószerkezetek I. Használhatósági határállapotok

Szép János

A tartószerkezeti méretezés alapjai

- Tartószerkezetekkel szemben támasztott követelmények:
 - A hatásokkal (terhekkel) szembeni ellenállóképesség
 - A használhatóság
 - A tartósság
- A tartószerkezeteket úgy kell megtervezni és magvalósítani,
 - hogy gazdaságosan,
 - az élettartamuk alatt kellő megbízhatósággal feleljenek meg a megvalósítás és használat során fellépő minden hatásra
 - Alkalmasak legyenek a rendeltetésszerű használatra

Teherbírási határállapot

- Az építmény tartószerkezeteinek és szerkezeti elemeinek védelme a tönkremenetel ellen
- Az emberek biztonsága
- Tartósság

Teherbírási határállapot vizsgálat

- Helyzeti állékonyság elvesztése (EQU)
- Szilársági és/vagy alaki stabilitási tönkremenetel (STR)
- Fáradás vagy más időben lejátszódó tönkremenetel (FAT)
- Az altalaj törése vagy túlzott mértékű alakváltozása (GEO)
- (EQUilibrium, STRenght, FATigue, GEOTECHNIK)

Használhatósági határállapotok

- A csatlakozó szerkezetek épségének biztosítása
- Az emberi komfortérzet biztosítása
- A külső megjelenés
- Tartósság

Használhatósági határállapotok vizsgálata

- Alakváltozások, elmozdulások
- Rezgések, lengések
- Repedések
- A külső megjelenést befolyásoló egyéb károsodások
- Feszültségek (csak bizonyos esetekben)

A szilárdsági vizsgálat (STR) teherbírési határállapotban

$$E_d \leq R_d$$

E_d

A hatásokból számított állapotjellemző (pl. igénybevétel, feszültség) tervezési értéke (design value of Effect of action)

R_d

Ugyanazon állapotjellemző (pl. igénybevétel, feszültség) teherbírásra jellemző tervezési értéke (design value of Resistance)

$$E_d = \gamma_F \cdot E_k$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

Használhatósági határállapotok

- Használhatósági (használati) határállapotok:
 - a normálfeszültségek korlátozása
 - a repedezettség ellenőrzése
 - az alakváltozások korlátozása.
- A használhatósági határállapotok ellenőrzése során a szerkezet feszültségeit és alakváltozásait akkor szabad repedésmentes állapot feltételezésével számítani, ha a figyelembe veendő hatáskombinációból számított igénybevétel hatására repedésmentes állapot feltételezésével meghatározott beton-húzófeszültség nem haladja meg az f_{ctm} értéket.

Hatáskombinációk

- használhatósági határállapotokhoz
- Karakterisztikus kombináció (repedésmentesség igazolása):

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + \psi_{01} \cdot Q_{k1}$$

- Gyakori kombináció (feszített vasbetonszerkezetek repedés-korlátozása; épületek alakváltozásának korlátozása és térbeli merevségének ellenőrzése):

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

- Kvázi állandó kombináció: (a tartós hatások következményeinek, a szerkezeti elemek eltolódásának, a vasbeton szerkezet repedéstágasságának vizsgálatához)

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

A normálfeszültségek korlátozása

- A normálfeszültségek korlátozása
- Általános esetben igazolni kell, hogy:
 - a túlzott mértékű beton-nyomófeszültségek miatt hosszirányú repedések nem keletkeznek: $\sigma_c \leq 0,6f_{ck}$
 - az acélokban képlékeny alakváltozások nem alakulnak ki: $\sigma_s < 0,6f_{yk}$ és $\sigma_p < 0,6f_{pk}$
- ahol σ_c ill. σ_s és σ_p a karakterisztikus kombináció alapján számított maximális beton- ill. acélfeszültségek.

Alakváltozások vizsgálata

Az alakváltozások mértékét

- a vasbeton szerkezetek funkciója, a szerkezeti elemek megfelelő működése, a kedvezőtlen megjelenés elkerülése és
- a csatlakozó elemek károsodásának megelőzése érdekében kell korlátozni. A megengedett lehajlás értékei a terhek kvázi-állandó kombinációjának megfelelő teherre az
 - esetben a támaszköz $l/250$ -ed része
 - esetben a támaszköz $l/500$ -ed része
 - Tégla gipsz elemekből épített kiékelte válaszfalak esetén a lehajlás max 10-12mm

A lehajlás egyszerűsített vizsgálata

l/d korlátozás

Vasbeton lemez vagy négyszög keresztmetszetű gerenda eleget tesz az $l/250$ lehajláskövetelménynek, ha

$$\underbrace{\frac{l/K}{d}}_{\text{karcsúság}} \leq \alpha \underbrace{(l/d)_{\text{eng}}}_{\text{megengedett karcsúság}}$$

A lehajlás egyszerűsített vizsgálata

$$\underbrace{\frac{l/K}{d}}_{\text{karcsúság}} \leq \alpha \underbrace{(l/d)_{\text{eng}}}_{\text{megengedett karcsúság}}$$

l az elméleti támaszköz ($l = l_{\text{eff}}$)

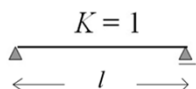
K a megtámasztási viszonyoktól függő tényező
(l/K a nyomatéki null-pontok távolsága)

d a hatékony magasság

A lehajlás egyszerűsített vizsgálata

 K tényező a lehajlás ellenőrzéséhez

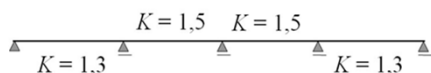
Kéttámaszú, konzol nélküli gerenda vagy lemez	$K = 1$
Töbttámaszú gerenda vagy lemez szélső nyílása	$K = 1,3$
Töbttámaszú gerenda vagy lemez közbenső nyílása	$K = 1,5$
Konzol	$K = 0,4$
Pontokon megtámasztott síklemez	$K = 1,2$



A lehajlás egyszerűsített vizsgálata

 K tényező a lehajlás ellenőrzéséhez

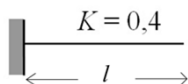
Kéttámaszú, konzol nélküli gerenda vagy lemez	$K = 1$
Töbttámaszú gerenda vagy lemez szélső nyílása	$K = 1,3$
Töbttámaszú gerenda vagy lemez közbenső nyílása	$K = 1,5$
Konzol	$K = 0,4$
Pontokon megtámasztott síklemez	$K = 1,2$



Alakváltozások vizsgálata

***K* tényező a lehajlás ellenőrzéséhez**

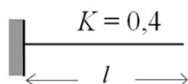
Kéttámaszú, konzol nélküli gerenda vagy lemez	$K = 1$
Töbttámaszú gerenda vagy lemez szélső nyílása	$K = 1,3$
Töbttámaszú gerenda vagy lemez közbenső nyílása	$K = 1,5$
Konzol	$K = 0,4$
Pontokon megtámasztott síklemez	$K = 1,2$



A lehajlás egyszerűsített vizsgálata

***K* tényező a lehajlás ellenőrzéséhez**

Kéttámaszú, konzol nélküli gerenda vagy lemez	$K = 1$
Töbttámaszú gerenda vagy lemez szélső nyílása	$K = 1,3$
Töbttámaszú gerenda vagy lemez közbenső nyílása	$K = 1,5$
Konzol	$K = 0,4$
Pontokon megtámasztott síklemez	$K = 1,2$



A lehajlás egyszerűsített vizsgálata

***K* tényező a lehajlás ellenőrzéséhez**

Kéttámaszú, konzol nélküli gerenda vagy lemez	$K = 1$
Töbttámaszú gerenda vagy lemez szélső nyílása	$K = 1,3$
Töbttámaszú gerenda vagy lemez közbenső nyílása	$K = 1,5$
Konzol	$K = 0,4$
Pontokon megtámasztott síklemez	$K = 1,2$

Pontokon megtámasztott, derékszögű hálózatos síklemezek esetén az oszlopsávokban két irányban számított l/K közül a nagyobbikat kell figyelembe venni.

A lehajlás egyszerűsített vizsgálata

K tényező a lehajlás ellenőrzéséhez

Kéttámaszú, konzol nélküli gerenda vagy lemez	$K = 1$
Töbttámaszú gerenda vagy lemez szélső nyílása	$K = 1,3$
Töbttámaszú gerenda vagy lemez közbelső nyílása	$K = 1,5$
Konzol	$K = 0,4$
Pontokon megtámasztott síklemez	$K = 1,2$

Két irányban teherhordó, vonal mentén megtámasztott lemezeknél viszont a két irányban számított l/K közül a kisebbiket kell figyelembe venni.

Megengedett karcsúságok

A megengedett karcsúság $(l/d)_{max}$ értékei* négyzetes keresztmetszet esetében

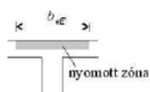
Beton szilárdsági osztálya	$\beta \frac{F_{Ed}}{b}$ [kN/m ²] (gerendánál b a gerenda szélessége m-ben, lemezeknél $b=1,0$ m)										
	300	250	200	150	100	50	25	20	15	10	5
C40/50	13	14	14	15	17	20	25	27	30	35	47
C35/45	13	14	14	15	16	19	24	26	29	34	45
C30/37	13	13	14	15	16	19	23	25	28	33	43
C25/30		13	14	14	16	18	22	24	27	31	41
C20/25			14	14	15	18	21	23	25	29	39
C16/20				14	15	17	21	22	24	28	37

$$\alpha(l/d) \leq 40$$

Megengedett karcsúságok

A megengedett karcsúság $(l/d)_{max}$ értékei T keresztmetszet esetében (nyomott zóna a fejlemezben)

Beton szilárdsági osztálya	$\beta \frac{F_{Ed}}{b_{eff}}$ (kN/m ²) (F_{Ed} a gerenda terhe kN/m-ben.)										
	300	250	200	150	100	50	25	20	15	10	5
C40/50	13	13	14	15	16	17	19	19	19	20	21
C35/45	13	13	14	14	15	17	18	18	19	20	21
C30/37	13	13	14	14	15	17	18	19	19	20	21
C25/30	13	13	13	14	15	16	18	18	19	20	21
C20/25		13	14	15	16	18	18	18	19	19	20
C16/20				14	15	16	18	18	19	19	20



További pontosítási lehetőség

- A terhek arányának,
- a túlméretezésnek,
- az acél szilárdsági osztályának figyelembevétele

$$\beta = \frac{M_{Ed}}{M_{Ed}} \frac{500}{f_{yk}} \approx \frac{A_{s,prov}}{A_{s,requ}} \frac{500}{f_{yk}}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2}} \beta \frac{P_{Ed}}{P_{qp}}$$

Lehajlás ellenőrzése számítással

- Kis terhek esetén : repedésmentes km.szerint számított
 - ~ a repedést okozó teher 70%-a
- Nagy terhek esetén berepedt II.fesz állapot szerinti
 - ~ a repedést okozó teher 5-10 szerese
- Közepes teher esetén : a szerkezet viselkedését a repedésmentes és a teljes hosszban berepedt állapotok közti átmenettel kell figyelembe venni.
 - („húzott betonöv merevítő hatása”)

Pontos számítás

$$\kappa = (1 - \zeta) \kappa_I + \zeta \kappa_{II}$$

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{M_{cr}}{M} \right)$$

$$\kappa_{I,M} = \frac{M}{E_{c,eff} I_I}$$

$$\kappa_{II,M} = \frac{M}{E_{c,eff} I_{II}}$$

$$\kappa_{I,cs} = \varepsilon_{cs} \frac{E_s}{E_{c,eff}} \frac{S_{z,I}}{I_I}$$

$$\kappa_{II,cs} = \varepsilon_{cs} \frac{E_s}{E_{c,eff}} \frac{S_{z,II}}{I_{II}}$$

Görbület

Húzott betonöv hatását kifejező tényező

Nyomatékból keletkező görbület

Zsugorodásból keletkező görbület

Lehajlás: a görbületek integrálásával lehet meghatározni

Alakváltozások vizsgálata

$$w = (1 - \zeta)w_I + \zeta w_{II}$$

ζ :

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{M_{cr}}{M} \right)$$

β

lehajlás közelítő számítási képlete

A húzott betonöv merevítő hatását figyelembe vevő tényező

Tiszta hajlítás esetén

A teher tartósságát, vagy ciklikusságát figyelembe vevő tényező:

- $\beta = 0,5$ egyszeri v. rövid idejű teher
- $\beta = 1,0$ tartós v. ismétlődő teher

Kéttámaszú tartó esetén

$$w = (1 - \zeta)w_I + \zeta w_{II}$$

$$w_I = \frac{5}{384} \frac{p_{sp} \times l^4}{E_{c,eff} \times J_I} + \frac{1}{8} l^2 \kappa_{I,cs}$$

$$\kappa_{I,cs} = \varepsilon_{cs} \frac{E_s}{E_{c,eff}} \frac{S_{s,I}}{I_I}$$

$$w_{II} = \frac{5}{384} \frac{p_{sp} \times l^4}{E_{c,eff} \times I_{II}} + \frac{1}{8} l^2 \kappa_{II,cs}$$

$$\kappa_{II,cs} = \varepsilon_{cs} \frac{E_s}{E_{c,eff}} \frac{S_{s,II}}{I_I}$$

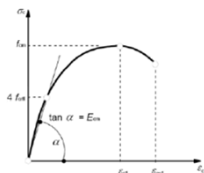
- lehajlás közelítő számítási képlete
- I. fész. állapotban számított lehajlás
- zsugorodásból keletkező görbület I. fész. áll.-ban
- II. fész. állapotban számított lehajlás
- zsugorodásból keletkező görbület II. fész. áll.-ban

Az alakváltozások csökkentésének lehetőségei

- A hatékony magasság (d) növelése
- Többtámaszúsítás (l és M csökkentése)
- Betonminőség növelése (lemezeknél)
- Acélmennyiség növelése (gerendáknál)
- Túlemlés

Beton kúszásának zsugorodásának figyelembevétele

- Kúszás hatásának közelítő figyelembevétele:
 - E_{cm} csökkentése
 - $E_{c,eff}$: fiktív hatásos rugalmassági modulus figyelembevétele
 - $E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \varphi)$
 - $\varphi = \varphi(\infty, 28)$ kúszási tényező
 - (végértéke ~2,7-2,35)



Beton kúszása zsugorodása

- Az EC2 alapján a beton kúszása és zsugorodása függ
 - a környezet páratartalmától,
 - az elem méreteitől
 - a beton keresztmetszet területétől
 - és a külső levegővel érintkező kerülettől
 - és a beton összetételétől (cement típusától).
 - beton kora az első megterhelés időpontjában
 - a terhelés időtartama és nagysága is

Lehajlás VEM programokkal

- A lehajlások számításánál:
 - Az inercianyomatékot a betonkeresztmetszet alapján (~ I. feszültségállapot)
 - A beton rugalmassági modulusát E_{cm} értékkel veszi figyelembe
 - Az eredmények ellenőrizendők, felülvizsgálandók
 - Tényleges vasalás – inercia II. feszültségi állapot
 - Beton rugalmassági modulusának időbeli változása

Repedéstágasság vizsgálata

- A vasbeton szerkezetek repedettségének mértékét
 - a funkció,
 - a megfelelő tartósság
 - a kedvezőtlen megjelenés elkerülése
- érdekében kell korlátozni.

Repedéstágasság határértéke

A hatások kvázi-állandó kombinációjára a maximális repedések:

- látványa zavaró ha $w_k > 0,4\text{mm}$, X0 és XC1 (állandóan száraz vagy állandóan víz alatt lévő) környezetben az acélbetét nem korrodál
- XC2, XC3, XC4 (váltakozóan száraz ill. nedves) vagy
- XD1, XD2, XD3 (klórvegyületek hatásának kitett) környezetben a max. repedéstágasság értéke 0,3mm

Repedéstágasság határértékei

- 0,005mm jó világítás mellett, sima betonfelületen közelről szabad szemmel, esetleg nagyítóval felfedezhető
- 0,05mm már megindul a víz átszivárgása, de az ilyen méretű repedés hamar eltömítődik
- 0,1 mm már távolabbról is felfedezhető, de még nem feltűnő – „hajszálrepedés”
- 0,2 mm szabadban, párás helyiségben a beton még kellő védelmet nyújt az acélbetétek korróziójával szemben
- 0,4 mm száraz helyiségben még nem lép fel korrózióveszély
- 0,6 mm magasépítési szerkezeteknél már esztétikai szempontból is megengedhetetlen és valamilyen szerkezeti hibára utal.

Repedéstágasság értéke

- A repedéstágasság értéke
 - Legnagyobb repedéstávolság és a repedések közötti tartományban
 - Az acélbetétben
 - és a betonban számítható
 - megnyúláskülönbségek szorzataként számítható
 - Repesztőnyomaték meghatározása
 - Bereped-e a tartó?

Repedéstágasság vizsgálata

- A repedéstágasságot a következő összefüggéssel lehet meghatározni:
 - $w_k = \max \begin{cases} s_{r,max}(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \\ 0,6s_{r,max} \sigma_s / E_s \end{cases}$
 - ahol:
 - $s_{r,max}$: a repedések maximális távolsága
 - ϵ_{sm} : az acélbetét átlagos nyúlása, a repedések között a húzott betonzóna merevítő hatásának figyelembevételével.
 - ϵ_{cm} : átlagos nyúlás a betonban a repedések közötti repedésmentes szakaszokon

Repedéstágasság vizsgálata

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - 0,4 f_{ctm} A_{c,eff} / A_s}{E_s}$$

ϵ_{sm} : az acélbetét átlagos nyúlása
 σ_s : az acélfeszültség
 $A_{c,eff}$: hatékony húzott betonkm.

$$h_{c,eff} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5(h-d) \\ (h-x)/3 \\ h/2 \end{array} \right\}$$

ϵ_{cm} : a beton átlagos nyúlása
 f_{ctm} : a beton átlagos húzószilárdsága
 E_{cm} : a beton rugalmassági modulusa

$$\epsilon_{cm} = 0,4 f_{ctm} / E_{cm}$$

$$s_{r,max} = 3,4c + 0,425k_1k_2\varphi_s A_{c,eff} / A_s$$

$s_{r,max}$: a repedések maximális távolsága

c: betonfedés mértéke

k_1 : az acélbetét és a beton közti tapadást figyelembe vevő tényező:

$k_1=0,8$ bordás acélbetétnél

$k_1=1,6$ sima acélbetétnél

k_2 : a km-ben belüli feszültségeloszlást figyelembe vevő tényező:

$k_2=0,5$ hajlításnál

$k_2=1,0$ központos húzásnál

φ_s : a húzott betonacélok átmérője

$A_{c,eff}$: a $h_{c,ef}$ értékével számított terület

A_s : alkalmazott vasalás

Ha a húzott acélbetétek távolsága $> 5(c + \varphi_s/2) \rightarrow s_{r,max} = 1,3(h-x)$

A repedéstágasság egyszerűsített ellenőrzése

Vasátmérő korlátozás

Az Eurocode 2 szerint:

- Épületek 200 mm-nél nem vastagabb vasbeton lemezeinél, nem kell a repedéstágasságot ellenőrizni,
 - ha azok nem vagy csak elhanyagolható mértékű húzóerőt kapnak, és a
 - szerkesztési szabályoknak eleget tesznek.

A repedéstágasság egyszerűsített ellenőrzése

- A vasbeton gerendák és lemezek eleget tesznek
 - A $w_k \leq w_{k,eng}$
- repedéskorlátozási feltételnek, ha az acélbetétek átmérője nem haladja meg az alábbi értékeket

Acélfeszültség σ_s (N/mm ²)	Az acélbetét maximális átmérője φ_{max} (mm)		
	$w_{k,eng} = 0,4$ mm	$w_{k,eng} = 0,3$ mm	$w_{k,eng} = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

Acélfeszültség közelítő értéke: Helyettesítő betonacélátmérő:

$$\sigma_s \approx f_{yd} \frac{P_{qp}}{P_{Ed}} \frac{A_{s,requ}}{A_{s,prov}} \quad \varphi_{eq} = \frac{\sum \varphi_i^2}{\sum \varphi_i}$$

A repedéstágasság egyszerűsített ellenőrzése

Acélfeszültség közelítő értéke:

$$\sigma_s \approx f_{yd} \frac{p_{qp}}{p_{Ed}} \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}}$$

Helyettesítő betonacélátmérő:

$$\varphi_{eq} = \frac{\sum \varphi_i^2}{\sum \varphi_i}$$

Táblázatból vasátmérő meghatározása

A repedéstágasság csökkenthetősége

- A vasmenyiség (A_s) növelése
 - (σ_s csökken)
- A betonacélok átmérőjének csökkentése
 - (s_{max} csökken)
- Kéregvasalás alkalmazása
 - (csak 30 mm átmérő felett, nem a magasépítésben)
