

Dr. Németh György
főiskolai docens

Tartószerkezetek méretezése az Eurocode alapján

1

A méretezés célja

- Olyan szerkezetek létesítése, amelyek a tervezett élettartamon belül biztonsággal alkalmassak a velük szemben támasztott követelmények kielégítésére.
- A szerkezetek biztonsága optimális legyen
 - ◆ az építés és a rendeltetészerű használat során bekövetkező valamennyi hatással és a helyi tönkremenetelt előidéző rendkívüli hatás (pl. tűz, robbanás) következtében fellépő progresszív összeomlással szemben.

2

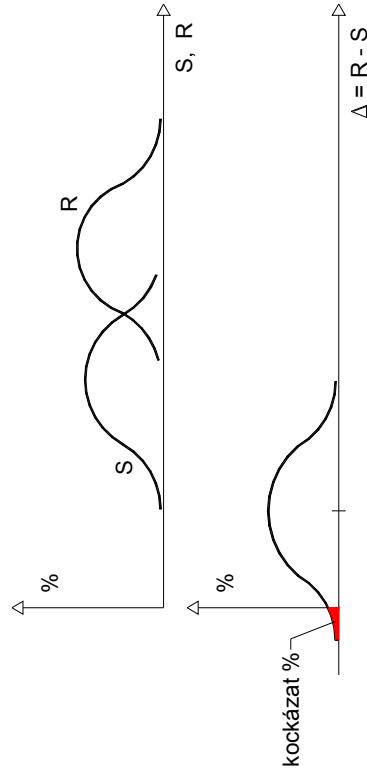
A hatások

- A méretezésnél figyelembe veendő hatások (F) lehetnek:
 - ◆ a szerkezetre ható közvetlen erőhatások (pl: önsúly vagy esetleges teher),
 - ◆ terhelő alakváltozások (pl: hőmérsékleti hatás vagy támaszsüllyedés).
- Időbeni változás szerint lehetnek:
 - ◆ állandó (G),
 - ◆ változó (Q),
 - ◆ rendkívüli (A) hatások.
- Állandó hatások az önsúly, a földnyomás és a feszítőerő. Változó hatások a meteorológiai és az esetleges terhek. Rendkívüli hatások a rendkívüli eseménykor (tűz, robbanás, járműütközés) fellépő terhek.
- Térbeni változás szerint is lehetnek:
 - ◆ állandóak (pl. önsúly) és
 - ◆ változóak (pl. mozgó esetleges teher, szélteher).

3

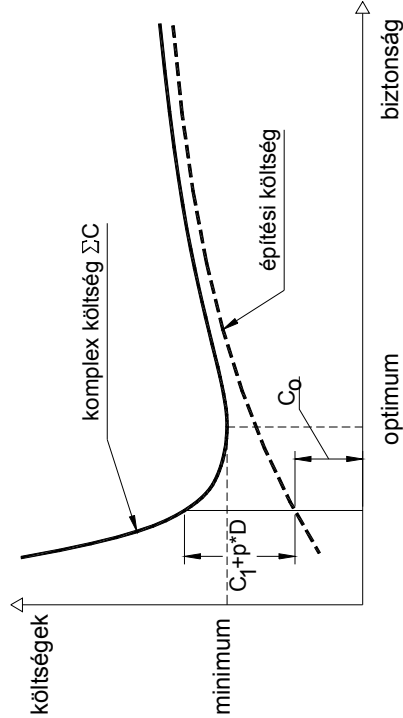
Biztonság, kockázat, megbízhatóság

- Kockázat: a nemkívánt állapot (pl: $S > R$) kialakulásának valószínűsége. Különböző fokú kockázatvállalás lehet indokolt – ugyanazon építmény különböző szerkezeti elemeire is – a nemkívánt állapot következményétől függően.



4

Az optimális biztonság elve



C_0 : építési költség
 C_1 : fenntartási költség
 D : a p valószínűséggel bekövetkező kárösszeg

Méretezési elvek, méretezési eljárások

MÉRETEZÉSI ELJÁRÁSOK			
egyetlen	osztott	biztonsági tényező nélküli eljárás	
	biztonsági tényezőes eljárás		
▪ megengedett feszültséges eljárás	▪ törési biztonságon alapuló eljárás ▪ félvalószínűségi módszer ▪ parciális tényezők módszere	▪ megbízhatósági eljárás	
determinisztikus		valószínűségi	
MÉRETEZÉSI ELVEK			

A megengedett feszültséges eljárás

$$\sigma_{\max}(E_m, L_m) \leq \sigma_{adm} = \frac{R_m}{\gamma}$$

$\sigma_{\max}$: a rugalmasságtani alapon számított legnagyobb feszültség,

E_m : a teher várható (legvalószínűbb) értéke,

L_m : a geometriai méretek várható értéke,

R_m : a szilárdság (acél esetében a folyási határ) várható értéke,

γ : az egységes biztonsági tényező ($\gamma=1,5 \dots 3,0$)

7

A teljes valószínűségi méretezési módszer (megbízhatósági eljárás)

- A nemkívánt állapot bekövetkezésének kockázata ($p < 1$), vagy a szerkezetnek a nemkívánt állapottal szembeni megbízhatósága ($M = 1 - p$) statisztikai módszerekkel közvetlenül kimutatható, és a vállalható kockázattal, illetve a még megfelelőnek ítélt megbízhatósággal összehasonlítható.
- A nemkívánt állapot bekövetkezése mindig több paraméter függvénye, melyek szórását ismerni kell.
- Nagyon bonyolult eljárás.

8

A törési biztonságon alapuló eljárás

- A határállapotok vizsgálata osztott biztonsági tényezőkkel történik.

$$E_d [\gamma_G \cdot G_m, \gamma_Q \cdot Q_m, (L_m \pm \Delta_L)_E] \leq R_d \left[\frac{R_m}{\gamma_R}, (L_m \pm \Delta_L)_R, S_{adm} \right]$$

$$\gamma_G = 1,1 \text{ ill. } 0,9$$

$$\gamma_Q = 1,2 \dots 1,4$$

$$\gamma_R = 1,15 \dots 1,5$$

9

A félvalószínűségi eljárás

- A határállapotokat determinisztikus modellen vizsgáljuk, de az erőtan vizsgálat egyes paramétereit úgy vesszük fel, hogy az eredmények jól közelítsék egy sztochasztikus modell tapasztalati és elméleti megfontolások alapján nyerhető eredményeit. Félig valószínűségi eljárás.

$$Y_M = \gamma_G \cdot Y_G + \gamma_{QI} \cdot Y_{QI} + \alpha \cdot \sum_i \gamma_{Qi} \cdot Y_{Qi} \leq Y_H$$

- A terhek és hatások biztonsági tényezője a 95%-os alulmaradási küszöbértéknek megfelelően:

$$\gamma_f = 1 + 1,645 \cdot v_f$$

- Az ellenállási paraméterek biztonsági tényezője:

$$\gamma_R = 1,15 \dots 1,33$$

10

A parciális tényezők módszere

- Az osztott biztonsági tényezős eljárás továbbfejlesztett változata, amely nagyobb mértékben támaszkodik a valószínűségi alapokon álló megbízhatósági elméletre.
- A parciális tényezők lényegében biztonsági tényezők, melyek vonatkozhatnak:
 - ◆ a tartószerkezetet érő terhekre és hatásokra;
 - ◆ anyagjellemzőkre (pl. folyáshatár).
- A teherbírássra és a használhatóságra különböző megbízhatósági szintek megválasztása lehetséges a tartószerkezetek (ill. azok részeinek) osztályba sorolásával.

Tervezési élettartamok

Osztály	Előírt tervezési élettartam (év)	Példák
1	10	Ideiglenes tartószerkezetek.
2	10-25	Cserélhető tartószerkezeti részek, pl. darupálya-tartók, saruk.
3	15-30	Mezőgazdasági és hasonló tartószerkezetek.
4	50	Épületek tartószerkezetei és egyéb szokásos tartószerkezetek.
5	100	Monumentális épületek tartószerkezetei, hidak és más építőmérnöki szerkezetek.



Megbízhatósági szintek

$$F_d = K_{FI} \cdot \gamma_F \cdot F_k$$

Kárkövetkezmény	Leírás	Példák	Megbízhatósági osztály	Tervellenőrzés szintje	Helyszíni ellenőrzés szintje	K_{FI}
CC3	Az emberi élet elvesztésének kockázata nagy, vagy a gazdasági társadalmi, környezeti következmények rendkívül jelentősek.	Lelátók. Közösségi épületek, ahol a tönkremenetellel járó kockázat nagy (pl. koncertterem)	RC3	DSL3	IL3	1,1
CC2	Az emberi élet elvesztésének kockázata közepes, vagy a gazdasági társadalmi, környezeti következmények számottevőek.	Lakó- és irodaházak. Közösségi épületek, ahol a tönkremenetellel járó kockázat közepes (pl. irodaház)	RC2	DSL2	IL2	1,0
CC1	Az emberi élet elvesztésének kockázata kicsi, a gazdasági társadalmi, környezeti következmények nem jelentősek, vagy elhanyagolhatóak.	Mezőgazdasági épületek, amelyekben szokásos esetben emberek nem tartózkodnak, pl. raktárak, növényházak	RC1	DSL1	IL1	0,9

CC: Consequences Class; RC: Reliability Class; DSL: Design Supervision Level; IL: Inspection Level



Tervezési állapotok

- A tartószerkezet megfelelőségét (a határállapotok elkerülését) a tervezési állapotokban kell igazolni. Ezek lehetnek:

- ◆ Tartós állapotok:
 - a szerkezet rendeltetészerű használata során fellépő hatások együttese;
- ◆ Ideiglenes állapotok:
 - az építés, karbantartás, javítás során fellépő hatások;
- ◆ Rendkívüli állapotok:
 - rendkívüli hatások (robbanás, ütközés) következményei.
- ◆ Szeizmikus állapotok

■ Teherbírási határállapotok (EQU/STR):

- ◆ a helyzeti állékonyság elvesztése (felborulás, elcsúszás stb.),
- ◆ a képlékeny törés (elsősorban a kapcsolatokban),
- ◆ a rideg törés,
- ◆ a fáradt törés,
- ◆ a korlátozatlan folyás,
- ◆ a maradó alakváltozások halmozódása,
- ◆ az anyag (első) megfolyása, maradó alakváltozás létrejötte, kapcsolatok elmozdulása, ha ezek a szerkezet rendeltetésszerű használatát akadályozzák,
- ◆ az alaki állékonyság (stabilitás) elvesztése, ha az a teherbírás megszűnéséhez vagy a szerkezet alakjának minőségi megváltozásához vezet.

■ Használhatósági határállapotok (SER):

- ◆ Az alakváltozásokkal, lengésekkel, repedezettséggel összefüggő határállapotok.

A karakterisztikus érték és a tervezési érték

- **Karakterisztikus érték:** a valószínűségi változó egy adott kvantiliséhez tartozó értéke.

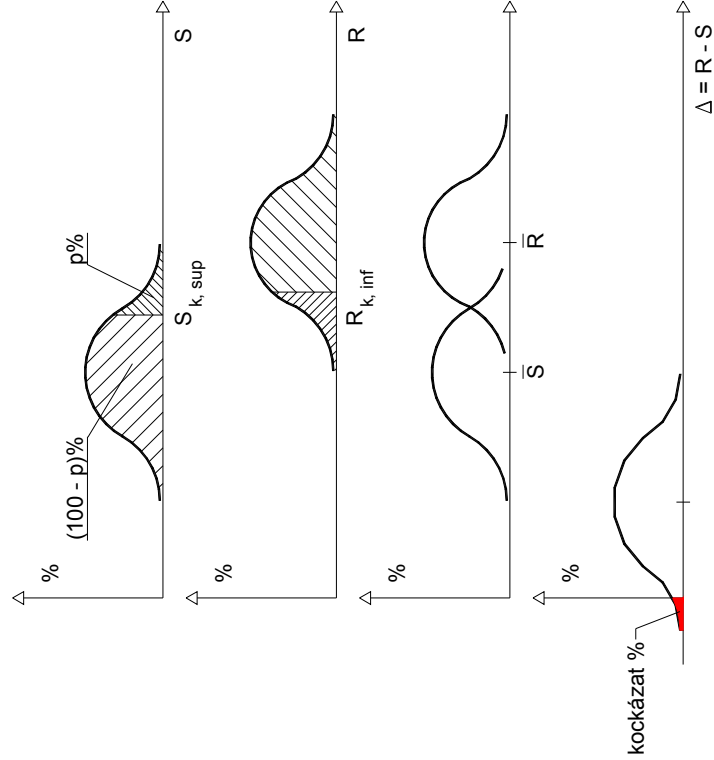
(A valószínűségi változó **p** valószínűségű **alsó** kvantilise a valószínűségi változó azon értéke, amelynél **kisebb** érték előfordulásának valószínűsége éppen **p**.)

A valószínűségi változó **p** valószínűségű **felső** kvantilise a valószínűségi változó azon értéke, amelynél **nagyobb** érték előfordulásának valószínűsége éppen **p**.)

■ Tervezési érték = biztonság figyelembevételével számított érték

- ◆ Az igénybevétel tervezési értéke az igénybevétel felső karakterisztikus értéknek egy (1-nél nagyobb) parciális biztonsági tényezővel való szorzásával kapható;
- ◆ Az ellenállás tervezési értékét az ellenállás alsó karakterisztikus értékének egy (másik, de szintén 1-nél nagyobb) parciális biztonsági tényezővel való osztásával számítjuk.

A hatás és ellenállás mint valószínűségi változó



A hatások tervezési értékei teherbírási határállapotban

Tervezési állapot	Állandó hatások (G, P)		Esetleges hatások (Q)		Rendkívüli (A) vagy szeizmikus (A_E) hatások
	kedvezőtlen	kedvező	kiemelt (domináns)	az összes többi	
Tartós és ideiglenes	$\gamma_{Gsup} \cdot G_k$ ($\gamma_{P, unfav} \cdot P$)	$\gamma_{Ginf} \cdot G_k$ ($\gamma_{P, fav} \cdot P$)	$\gamma_{Qk, I} \cdot Q_{k, I}$	$\psi_{0i} \cdot \gamma_{Qki} \cdot Q_{ki}$	-
Rendkívüli	G_k		$\psi_{1I} \cdot \gamma_{Qk, I} \cdot Q_{k, I}$	$\psi_{2i} \cdot Q_{ki}$	A_d
Szeizmikus	G_k		-	$\psi_{2i} \cdot Q_{ki}$	A_{Ed}



A hatások tervezési értékei

használatossági határállapotban

Hatáskombináció	Állandó hatások	Esetleges hatások	
		kiemelt (domináns)	az összes többi
Karakterisztikus	G_k (P_k)	Q_{kl}	$\psi_{0i} \cdot Q_{ki}$
Gyakori		$\psi_{1i} \cdot Q_{kl}$	$\psi_{2i} \cdot Q_{ki}$
Kvázi-állandó		$\psi_{2i} \cdot Q_{ki}$	



Hatások parciális tényezői

A hatás	Jelölés	Számérték
Állandó hatás, ha kedvezőtlen	$\gamma_{G,sup}$	1,35 (1,10)
Állandó hatás, ha kedvező	$\gamma_{G,inf}$	1,00 (0,90)
Esetleges hatás, ha kedvezőtlen	γ_α	1,50
Esetleges hatás, ha kedvező	γ_α	0

A zárójeles értékek csak az állékonysági határállapot vizsgálatokor alkalmazhatók.



Hatások kombinációs tényezői

Hatás	Tényező szármértéke		
	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Födém- és tetőteher			
A kategória (lakás)	0,7	0,5	0,3
B kategória (iroda)	0,7	0,5	0,3
C kategória (egyéb középület)	0,7	0,7	0,6
D kategória (áruház)	0,7	0,7	0,6
E kategória (raktár)	1,0	0,9	0,8
F kategória (könnyű járművel járt födém)	0,7	0,7	0,6
G kategória (közepesen nehéz járművel járt födém)	0,7	0,5	0,3
H kategória (közönsége tető)	0	0	0
Hóteher (általános eset)	0,5	0,2	0
Szélteher	0,6	0,2	0
Hőmérsékleti hatások (de nem tűzteher)	0,6	0,5	0

Hatáskombinációk

- Teherbírási határállapotok vizsgálatánál:
 - ◆ Tartós vagy ideiglenes tervezési állapot
 - ◆ Rendkívüli tervezési állapot
 - ◆ Szeizmikus tervezési állapot
- Használhatósági határállapotok vizsgálatánál:
 - ◆ Karakterisztikus (ritka) kombináció → ψ_0
az irreverzibilis határállapotokhoz
(pl. repedésmentesség)
 - ◆ Gyakori kombináció → ψ_1
a reverzibilis határállapotokhoz
(pl. eltolódások, lengések)
 - ◆ Kvázi-állandó kombináció → ψ_2
a hosszantartó hatásokhoz
(pl. alakváltozások, repedéstágasság)

Hatáskombináció tartós és ideiglenes tervezési állapothoz

- Általában:

$$\sum_{j \geq I} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj}'' + \gamma_{QI} \cdot Q_{kI}'' + \sum_{i \neq I} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

- Alternatív lehetőség épületekre
(a kedvezőtlenebbet kell figyelembe venni)



$$\sum_{j \geq I} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj}'' + \gamma_{QI} \cdot \psi_{0I} \cdot Q_{kI}'' + \sum_{i \neq I} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$



$$\sum_{j \geq I} \xi \cdot \gamma_{Gj} \cdot G_{kj}'' + \gamma_{QI} \cdot Q_{kI}'' + \sum_{i \neq I} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

$$\xi = 0,85$$

23

Hatáskombináció rendkívüli tervezési állapothoz

- Kétféle kombináció vizsgálata szükséges:

- ◆ az egyik tartalmaz egy rendkívüli hatást (A_d), pl. jármű ütközés (közvetlen hatás)
- ◆ a másik a rendkívüli eseményt követő helyzetre vonatkozik, ahol már $A_d = 0$ de figyelembe kell venni a közvetett hatásokat (pl. megváltozott geometria, megváltozott anyagjellemzők)

$$\sum_j G_{kj}'' + A_d'' + \psi_{1I} \cdot Q_{kI}'' + \sum_{i \neq I} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

24

Hatáskombináció szeizmikus tervezési állapothoz

$$\sum_j G_{kj}'' + A_{Ed}'' + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

további részletek az EC 8 szerint...

25

Hatáskombinációk a használhatósági határállapotokhoz

- Karakterisztikus kombináció:

$$\sum_{j \geq I} G_{kj}'' + Q_{kI}'' + \sum_{i > I} \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

- Gyakori kombináció:

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

- Kvázi állandó kombináció:

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

26

A teherbírási határállapot vizsgálata

$$E_d \leq R_d$$

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

R_d Ugyanazon állapotjellemző (pl. igénybevétel, feszültség) teherbírási jellemző tervezési értéke (design Resistance)

$$E_d = \gamma_F \cdot E_k$$

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

27

A tervezési ellenállás

- A tervezési ellenállás egy számított igénybevétel-határ, amely valamely tönkremeneteli móddal szemben még megengedhető.
- A tervezési ellenállás (R_d) a geometriai adatok (a_k) és az anyagjellemzők (X_k) karakterisztikus értékeiből közvetlenül meghatározható:

$$R_d = R(X_k, a_k, \dots) / \gamma_M$$

- A geometriai adatok karakterisztikus értéke a névleges (tervezett) értékkel azonosnak vehető.

28

A γ_M parciális tényezők

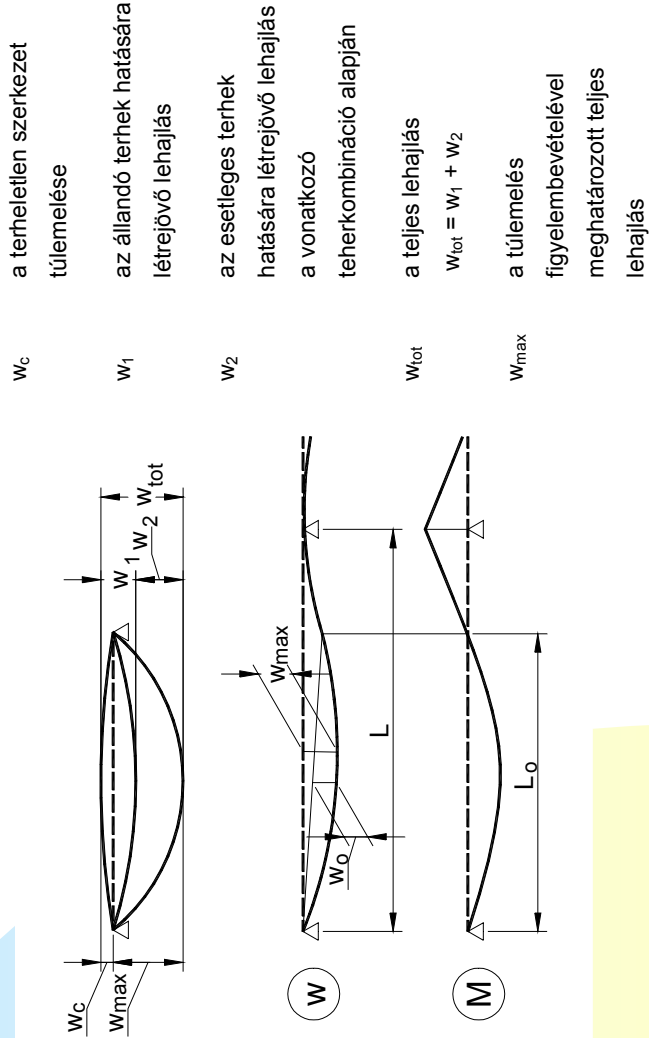
EC	Anyag	Jel	Teherbírási határállapot		Használhatósági határállapot
			Tartós / ideiglenes tervezési állapot	Rendkívüli / szelvényi tervezési állapot	
EN 1992 EC 2	beton	γ_C	1,50	1,20	1,00
	betonacél	γ_S	1,15	1,00	
	feszítőelem	γ_P	1,15		
EN 1993 EC 3	acél	γ_{M0}, γ_{M1}	1,0	1,00	
		γ_{M2}	1,25		
EN 1995 EC 5	faanyag	γ_M	1,30	1,00	
	kapcsolóelem	γ_M	1,10		
EN 1996 EC 6	falazat	γ	2,0 – 3,5	1,00	



Használhatósági határállapotok

- A tartószerkezetek működésével, a felhasználók komfortérzetével és a külső megjelenéssel kapcsolatos határállapotok.
- Használhatósági (merevségi) követelmények
 - ◆ Függőleges lehajlások korlátozása
 - ◆ Vízszintes eltolódások korlátozása
 - ◆ Rezgések (sajátfrekvencia) korlátozása
 - ◆ Számszerűsített követelményeket az EC0 tartalmaz.

A függőleges lehajlások értelmezése



Látvány szempontjából megengedett lehajlások

A szerkezet kialakítása	igényszint		
	még nem érzékkelhető	még nem zavaró	még nem kelt veszélyérzetet
Síma felület (pl. síklemez fódém)	L/250	L/200	L/150
Látható egyenes bordák, élek	L/300	L/250	L/200

L/w_{max} helyettesíthető L_0/w_f -al

L_0 értékek

Többtámaszú tartó szélső mezője vagy egyik végén befogott kéttámaszú tartó	$L_0 = L/1,3$
Többtámaszú tartó közbelső mezője vagy mindkét végén befogott tartó	$L_0 = L/1,5$
Pontokon megfárasztott síklemez	$L_0 = L/1,2$
Konzol	$L_0 = 2L_K$

- ♦ Az alakváltozást a kvázi-állandó kombinációból kell számítani.

$$\sum_{j \geq l} G_j'' + \sum_{i \geq l} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Szerkezeti szempontból ajánlott* alakváltozási határértékek

- ◆ A szerkezeti elemek alakváltozása ne károsítsa a csatlakozó nem-teherviselő elemeket.
- ◆ Gépi berendezéseknél a gyártó előírásait kell figyelembe venni.
- ◆ Darupályáknál általában: $w_{max} \leq L / 600$ ill. $w_{max} \leq 25\text{ mm}$
- ◆ Az alakváltozásokat a karakterisztikus kombinációból kell számítani.

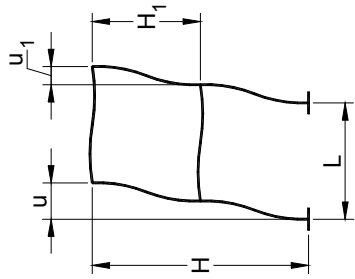
$$\sum_{j \geq 1} G_{kj}'' + Q_{k,l}'' + \sum_{i>l} \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

*:MSZ ENV
1193-1-:1995

Feltételek	Határértékek	
	w_{max}	w_l
Csak fenntartás céljából járt tetők	$L/200$	$L/250$
Járható tetők	$L/250$	$L/300$
Födémek általában	$L/250$	$L/300$
Födémek és tetők, amelyek vakolatot vagy más rideg burkolatot vagy merev válaszfalat hordoznak	$L/250$	$L/350$
Oszlopokat megtámasztó födémek (amennyiben a lehajlások hatását a globális vizsgálatban nem vettük figyelembe)	$L/400$	$L/500$

Ajánlott* vízszintes eltolódási határértékek

*:MSZ ENV
1193-1-:1995



- ◆ Az alakváltozásokat a karakterisztikus kombinációból kell számítani.

Feltételek	Határértékek
Daru nélküli portálkeretek	$u \leq H / 150$
Egyéb egyszintes épületek	$u \leq H / 300$
Többszintes épületben az egyes szintekre	$u_l \leq H_l / 300$
Többszintes épületben a szerkezet egészére	$u \leq H / 500$

Rezgések korlátozása

- A személyek mozgása okozta rezonancia elkerülése érdekében a fődémek sajátfrekvenciája (f_0) ne legyen kisebb mint
 - ♦ **3 Hz** vasbeton szerkezetű középületeknél és irodaházaknál;
 - ♦ **5 Hz** tánc- és tornatermeknél, valamint könnyűszerkezetes (fa- vagy fém szerkezetű) épületeknél.
- A sajátfrekvencia közelítőleg:

$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{w_{qp}}} \quad [Hz]$$

ahol

w_{qp} a kvázi-állandó teherkombináció okozta lehajlás cm-ben.