

MéRNÖKI faszerkezetek korszerű statikai méretezése

Hantos Zoltán

okl. faip. mérnök - szerkezettervező

Előadásvázlat

- Bevezetés, a statikai tervezés alapjai, eszközei
- Az EuroCode szabványok rendszere
- Bemutató számítás
- Összefoglalás



Bevezetés

- A statikai tervezés eszközei
 - Szabványok
 - Tervezési segédletek
 - Szoftverek



Szabványok I.

- „MSz 15020-as sorozat”
 - MSz 15020: általános alapelvek
 - MSz 15021-1: terhek, hatások
 - MSz 15021-2: követelmények
 - MSz 15025: faszerkezetek
- „Anyagszabvány”
 - MSz 10144: faanyagok



Szabványok II.

- „EuroCode sorozat”
 - MSz EN 1990: alapelvek, követelmények
 - MSz EN 1991-es sorozat: terhek, hatások
 - MSz EN 1995-ös sorozat: faszerkezetek
- „Anyagszabványok”
 - MSz EN 338: faanyagok
 - MSz EN 1194: ragasztott tartók



Tervezési segédletek

- „Iskolafüggő” eljárások
 - Magyar faépítészeti, illetve faszerkezet-tervezési szakirodalom elhanyagolt, elavult
 - Német szakkönyvek inkább a DIN 1052-t preferálják, mint az EC 5-t
 - Magyar nyelven elérhető néhány, szabványok alapján összeállított segédlet (BME)



Szoftverek I.

- Paraméteres elven működő szoftverek
- a szabványban található elvek, képletek szerint számolnak
- a szabványrendszer terhei, teherkombinációi beépíthetők
- a szabványrendszer anyagjellemzői, a szokványos szelvényméretek beépíthetők



Szoftverek I.

- Paraméteres elven működő szoftverek
- az ismert, vagy adott paraméterek segítségével ellenőrzést végeznek
- egy keresett paraméterre rendezve a számítást méretezést végeznek
- aláírható statikai dokumentációt állítanak össze, de inkább ácsoknak, mint statikusoknak fejlesztik



Szoftverek I.

- Paraméteres elven működő szoftverek
- önálló szoftver
 - E+K Holzbaustatik
- faszerkezettervező program modulja
 - Dietrich's + EuroStatik
 - Sema + FriLo
- árak: ~120e Ft-tól



Szoftverek II.

- Végeselem alapú cél-szoftverek
- a végeselem módszer egy matematikai művelet, ami adott külső paraméterek alapján definiált fizikai jelenséget modellez
- a számolási művelet-mennyiség miatt csak számítógéppel végezhető
- csak bizonyos peremfeltételek mellett ad (használható) eredményt



Szoftverek II.

- Végeselem alapú cél-szoftverek
- Statikai számítás esetén a bemenő adatok:
 - Az anyag és geometriai jellemzők
(rugalmas állandók és keresztmetszeti inercia)
 - A kötött elmozdulások
 - A terhek



Szoftverek II.

- Végeselem alapú cél-szoftverek
- Statikai számítás esetén az eredmények:
 - Elmozdulások
 - Feszültségek (elmozdulásokból)
 - Egyéb, származtatott eredmények

(belső erők, támaszerők, főfeszültségek,
főfeszültségi irányok, egyenértékű feszültségek)



Szoftverek II.

- Végeselem alapú cél-szoftverek
- A számítási eredmények értelmezése, a szerkezet tényleges ellenőrzése
 - Külön feladat
 - Alapos előismereteket igényel (statikus)
 - Nem önálló dokumentációt állít össze



Szoftverek II.

- Végeselem alapú cél-szoftverek
 - AXIS VM
 - FEM-design
 - Sofistik
 - Árak ~250e Ft-tól



Szoftverek III.

- Végeselem szoftverek
- Kutatási feladatokra használható, általános szoftverek, többfajta fizikai jelenség modellezésére (statika, hőtan, elektromosság, mágnesesség, vagy akár ezek kombinációja)
- A végeselem-módszerben rejlő lehetőségek teljes kiaknázása, pl. egyedi elemfelosztás



Szoftverek III.

- Végeselem szoftverek
- A modellfelépítés, illetve az eredmények értékelése előismereteket igényel (kutató)
- nem állít össze dokumentációt
- a sokoldalúság a mindennapi statikus gyakorlatban inkább hátrány
- különleges feladatokhoz, egyedi problémákhoz alkalmazható, kutatóbázis bevonásával



Az EuroCode szabványok

- Általános elvek, követelmények
- Terhek, hatások
- Anyagtulajdonságok (nem EC)
- Anyagspecifikus ellenőrzési módszerek



Általános elvek

- Méretezési elvek fejlődése
(anyag, geometria, és hatás háromszöge)
- Tapasztalati elvek
 - Korokra jellemző szerkezeti rendszer
(oszlop-gerendás, boltív, támpilléres csúcsív, kupola, stb.)
 - Csak a geometriai méreteket tudták mérni
 - Az élettartam igazolta a megfelelőséget



Általános elvek

- Méretezési elvek fejlődése
- Megengedett feszültségek módszere
 - A mechanika, mint tudományág megjelenése, belső erők, feszültség, alakváltozások, rugalmasság, és egyéb alapfogalmak alkalmazása
 - Anyagtulajdonságok (szilárdság, merevség) meghatározása kísérleti úton
 - Statikailag ellenőrizhetővé váló szerkezetek



Általános elvek

- Méretezési elvek fejlődése
- Megengedett feszültségek módszere (M.o.: 1909)
 - A biztonságot az anyagtulajdonságok csökkentésével érték el
 - A hatásokat átlagos értékkel vették figyelembe, és azonos módon kezelték a jól becsülhető (pl. önsúly) és a bizonytalan (pl. hóteher) értékeket
 - Alakváltozások ellenőrzése nem történt



Általános elvek

- Méretezési elvek fejlődése
- Osztott biztonsági tényezők módszere (M.o.: 1950)
 - A biztonságot az anyagtulajdonságok csökkentésével, és a hatások növelésével érték el
 - Az egyes hatások, illetve anyagjellemzők értékeit statisztikai alapon meghatározott módosító tényezőkkel veszik figyelembe
 - Alakváltozások ellenőrzése is figyelmet kap



Általános elvek

- Méretezési elvek összehasonlítása

A méretezési módszerek fejlődése				
Korszak	Módszer megnevezése	Feszültségi állapot	Biztonság figyelembevétele	Követelmény
i.e. 3000 - i.u. XIX. szd.	Tapasztalati	?	keresztmetszeti méreteknél	$A_{alk} \geq A_{szüks}$
XVIII. sz. vége – XX. sz. eleje	Megengedett feszültségek módszere	Rugalmas (repedésmentes v. berepedt)	szilárdságnál	$\sigma(F_{all}) \leq \sigma_{eng}$
MSZ: 1950 (!) EUROCODE-ok: ~ 2000	Osztott biztonsági tényezők módszere	<i>Teherbírás:</i> képlékeny (vb, falazat) rugalmas (fa, acél)	terheknél és szilárdságnál (esetleg egyes méreteknél is)	$E(F_d) \leq R_d$
	Határállapotok módszere	<i>Használhatóság:</i> rugalmas	követelményeknél	$w(F_{ser}) \leq w_{eng}$



Általános elvek

- **Határállapotra való ellenőrzés I.**
- Teherbírási határállapot (*élet- és vagyonbiztonság*)

Az építmény tartószerkezeteinek vagy szerkezeti elemeinek tönkremenetel elleni védelme, az emberek biztonsága

- Ellenőrizendő:
 - Helyzeti állékonyság,
 - Szilárdsági és/vagy alaki stabilitás,
 - Fáradás, reológiai ellenállás
 - Az altalaj törése vagy túlzott mértékű alakváltozása



Általános elvek

- **Határállapotra való ellenőrzés II.**
- Használhatósági határállapot (*kényelem és megbízhatóság*)

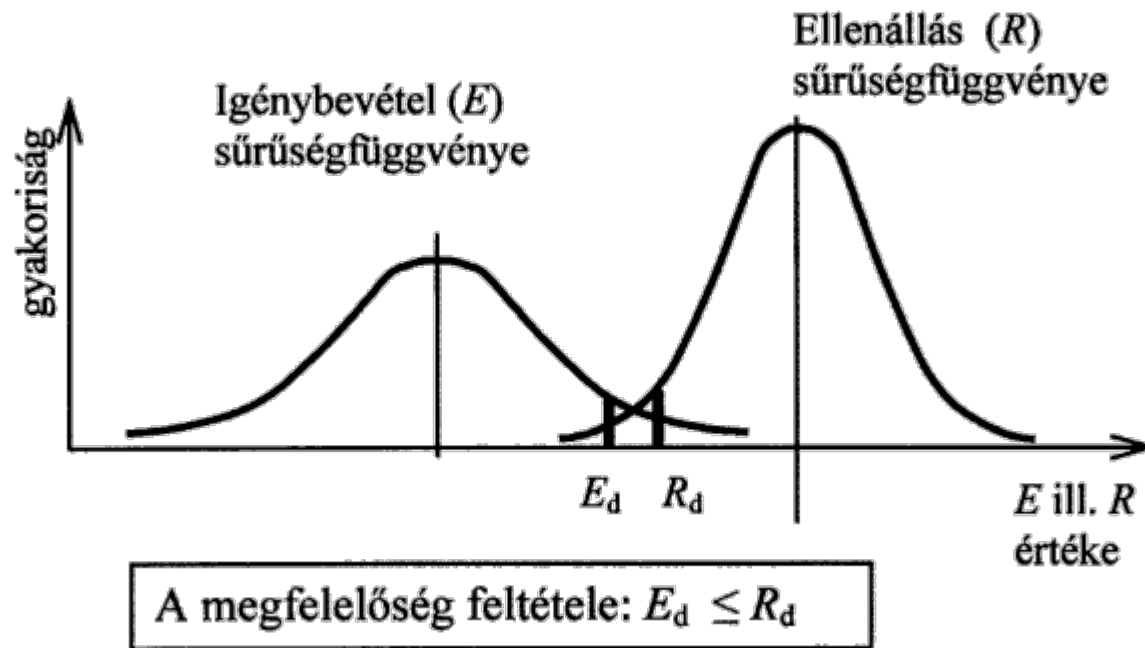
Csatlakozó szerkezetek épségének biztosítása, az emberi komfortérzet, a technológiai használhatóság, külső megjelenés, tartósság biztosítása

- Ellenőrizendő:
 - Alakváltozások, elmozdulások ,
 - Rezgések, lengések,
 - Repedések, egyéb károsodások
 - Feszültségek



Általános elvek

- Határállapotra való ellenőrzés



Általános elvek

- Anyagok biztonsági tényezői

Szerkezeti anyagok parciális (biztonsági) tényezői (partial factors, γ_M)					
EC	Szerkezeti anyag	Jel	Teherbírési határállapot		Használhatósági határállapot
			Tartós/ideiglenes tervezési helyzet	Rendkívüli / szeizmikus tervezési helyzet	
EN 1992	beton	γ_c	1,50	1,20	1,00
	betonacél	γ_s	1,15	1,00	
	feszítőelem	γ_P	1,15		
EN 1993	acél	$\gamma_{M0}, \gamma_{M1}^{(1)}$	1,0	1,00	
		$\gamma_{M2}^{(2)}$	1,25		
EN 1995	faanyag	γ_M	1,30	1,00	
	kapcsolóelem	γ_M	1,10		
EN 1996	falazat	γ	2,0 – 3,5	1,00	

⁽¹⁾ f_{yd} folyási határhoz, tartószerkezeten ⁽²⁾ f_{sd} szakítószilárdsághoz, kapcsolatban



Általános elvek

- Tervezési helyzetek

Tervezési helyzetek		
megnevezése	leírása	példák
Tartós ~ (rendeltetésszerű ~)	A szokásos, mindennapi használat körülményeit leíró, a tartószerkezet tervezési élettartamával azonos nagyságrendű időtartamra vonatkozó állapot.	A rendeltetésszerű használat állapota tartószerkezetnél vagy tartószerkezeti elemnél
Ideiglenes ~ (átmeneti ~)	A tartószerkezet, a használat, a környezeti hatások ideiglenes körülményeit leíró, a tartószerkezet tervezési élettartamánál lényegesen rövidebb időtartamra vonatkozó, nagy valószínűséggel fellépő állapot.	Építés, átalakítás, javítás, bontás. Emelés, szállítás (elemnél)
Rendkívüli ~	A szerkezet vagy az arra működő hatások kivételes feltételek közötti működési körülményeit leíró állapot, amely a tervezési élettartamon belül csak kis valószínűséggel következik be, de nem zárható ki teljesen.	Tűzhatás, ütközés, robbanás.
Földrengés	A szeizmikus hatás okozta kivételes feltételek közötti működési körülményeket leíró állapot, amelynek rövididejű fellépésével számolni kell az adott övezetre előírt értékkel.	Magyarország teljes területén kell valamilyen szintű földrengéssel számolni !



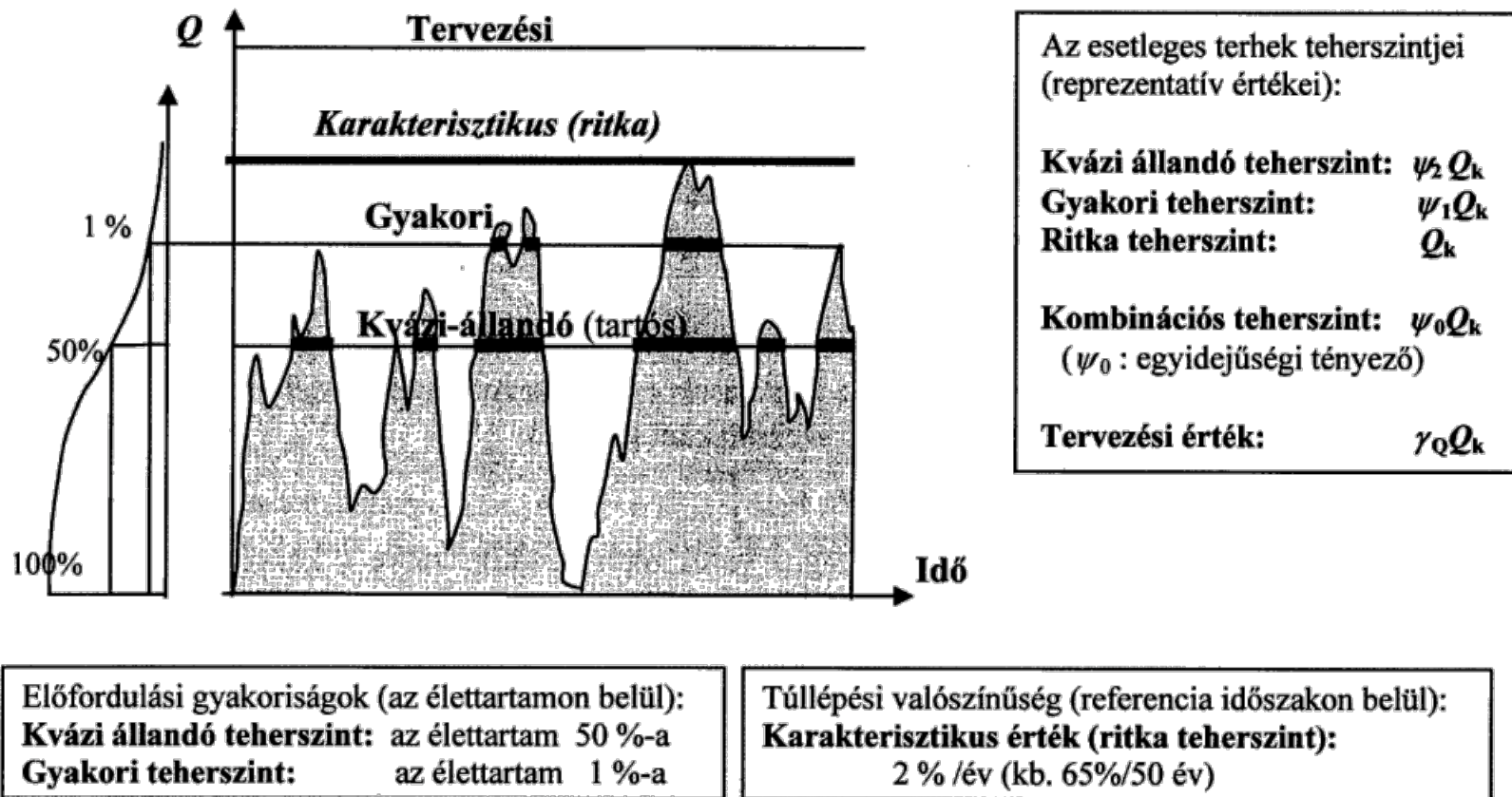
Általános elvek

• Hatások fajtái

A hatások		
csoportosítása	fajtái	példák
Időbeli változás szerint	a) Állandó ~ (G, P) (= időben állandó)	Önsúly, feszítés(!)
	b) Esetleges ~ (Q) (= időben változó)	• Tartós ~ (pl. raktárteher) • Rövid idejű ~ (pl. meteorológiai teher) • Ritka ~ (karakterisztikus)
	c) Rendkívüli ~ (A)	Ütközés, robbanás
Eredet szerint	a) Közvetlen ~ (terhek)	Koncentrált és megoszló terhek, nyomatékok
	b) Közvetett ~ (kinematikai terhek)	Kényszer- vagy gátolt alakváltozás (hőmérsékletváltozás, nedvességváltozás, támaszelmozdulás) Kényszersgyorsulás (robbanás, földrengés)
Térbeli változás szerint	a) Rögzített ~	önsúly
	b) Nem rögzített ~	daruteher, meteorológiai teher
Jelleg és/vagy szerkezeti válasz szerint	a) Statikus ~	nem okoz jelentős szerkezeti gyorsulást,
	b) Kvázi-statikuss ~	pl. önsúly
	c) Dinamikus	jelentős gyorsulásokat okoz, pl. földrengés

Általános elvek

- Időben változó hatások reprezentatív értékei



Általános elvek

•Hatások biztonsági tényezői

A hatások parciális (biztonsági) tényezői (γ_F)						
Teherbírási határállapot					Használhatósági határállapot	
Hatás (teher) jellege	Jel	Tartós vagy ideiglenes tervezési helyzet		Rendkívüli / szeizmikus tervezési helyzet		
		Szilárdsági/ alaki stabilitási vizsgálat	Helyzeti állékonysági vizsgálat			
Állandó	kedvezőtlen	γ_{Gsup}	1,35	1,10	1,0	1,0
	kedvező	γ_{Ginf}	1,00	0,90		
Esetleges		γ_Q	1,50			
Rendkívüli		γ_A	-	-		
Feszítőerő	kedvezőtlen	$\gamma_{P,unfav}$	1,3	-		
	kedvező	$\gamma_{P,fav}$	1,0	-		
Zsugorodás		γ_{sh}	1,0			



Általános elvek

- Hatások kombinációi teherbírási határállapotban
- Tartós és ideiglenes helyzetben:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{i \neq 1} \gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_{ki}$$

- Rendkívüli helyzetben:

$$\sum_i G_{ki} + A_d + \psi_{11} Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} Q_{ki}$$



Általános elvek

- **Hatások kombinációi használati határállapotban**
 - **Kvázi-állandó kombináció:**

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

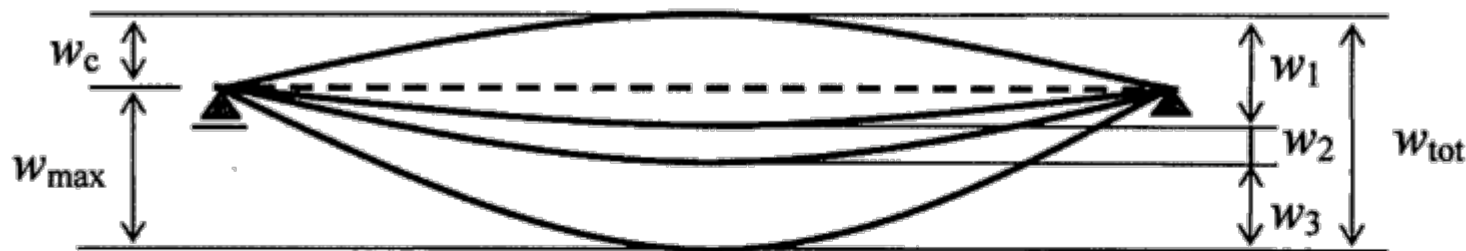
- **Gyakori kombináció:**

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" \psi_{1,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$



Általános elvek

- Merevségi követelmények
 - A lehajlás fokozatai



- w_c a terheletlen tartószerkezet felhajlása (túlemelésből, feszítésből),
 w_1 kezdeti lehajlás a G állandó terhek hatására,
 w_2 lehajlás-növekmény az állandó terhek, a kvázi-állandó esetleges terhek kúszás, valamint a zsugorodás hatásá
 w_3 lehajlás-növekmény az esetleges terhek hatására,
 w_{tot} a teljes lehajlás,
 w_{max} a teljes lehajlás a felhajlás figyelembevételével.



Általános elvek

- Merevségi követelmények

A látvány szempontjából megengedett lehajlás			
A szerkezet kialakítása	Igényszint		
	még nem érzékelhető	még nem zavaró	még nem kelt veszélyérzetet
sima mennyezet (pl. síklemez födém)	L/250	L/200	L/150
látható egyenes bordák, élek	L/300	L/250	L/200



Hatások

- **MSz EN 1991 – „Teherszabvány”-sorozat**
 - 1/1: önsúly és hasznos terhek
 - 1/2: tűznek kitett szerkezetek terhei
 - 1/3: hóteher
 - 1/4: szélhatás
 - 1/5: hőmérsékleti hatások
 - 1/6: hatások a megvalósítás során
 - 1/7: ütközés és robbanás során fellépő hatások
 - 2 : hidak forgalmi terhei



Hatások

- MSz EN 1991-1/1, önsúly terhek
- γ_k [kN/m³] értékek táblázatból, vagy katalógusból

Önsúlyterhek általános jellemzői		
Időbeli változás szerint	állandó / esetleges	
Eredet szerint	közvetlen	
Térbeli változás szerint	rögzített / nem rögzített	
Jelleg szerint	statikus / dinamikus	
Parciális (biztonsági) tényező	$\gamma_G = 1,35$	Tartós / ideiglenes tervezési helyzeteken belül <i>teherbírási</i> határállapotban
	$\gamma_G = 1,0$	Tartós / ideiglenes tervezési helyzeteken belül, <i>használati</i> határállapotban
	$\gamma_A = 1,0$	Rendkívüli tervezési helyzetben
Az önsúly, mint <i>esetleges</i> hatás kombinációs / gyakori / kvázi-állandó értékét megadó tényezők	$\psi_0 = \psi_1 = \psi_2 = 1,0$	Minden tervezési helyzetben



Hatások

- MSz EN 1991-1/1, hasznos terhek
- q_k [kN/m²], illetve Q_k [kN] értékek táblázatból

Hasznos terhek általános jellemzői		
Időbeli változás szerint	esetleges	
Eredet szerint	közvetlen	
Térbeli változás szerint	rögzített / nem rögzített	
Jelleg szerint	statikus / kvázi-statisz / dinamikus	
Parciális (biztonsági) tényezők	$\gamma_Q = 1,50$	Tartós / ideiglenes tervezési helyzeteken belül <i>teherbírási</i> határállapotban
	$\gamma_Q = 1,0$	Tartós / ideiglenes tervezési helyzeteken belül, <i>használati</i> határállapotban
	$\gamma_A = 1,0$	Rendkívüli tervezési helyzetben
Kombinációs (egyidejűségi) tényező ψ_0	teherfajtától függően a 3-5. táblázat szerint	Tartós / ideiglenes tervezési helyzetekben
A gyakori teherrészt megadó tényező ψ_1		
A kvázi-állandó teherrészt megadó tényező ψ_2		



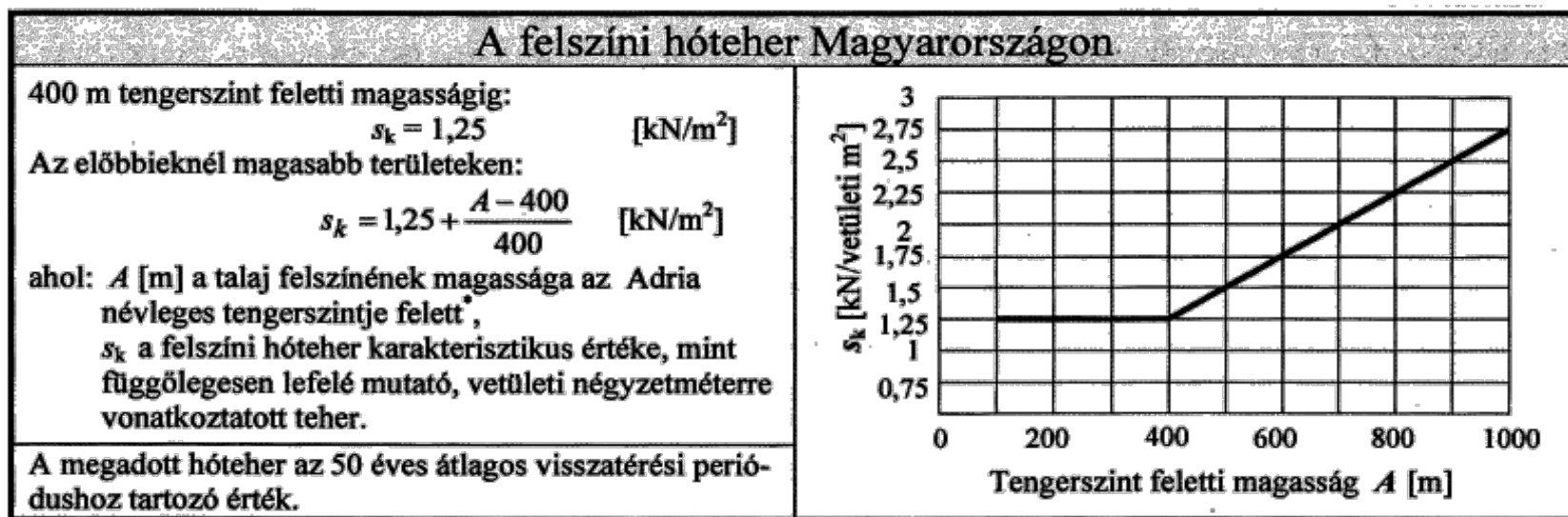
Hatások

- MSz EN 1991-1/1, hasznos terhek
- hasznos teher csökkentő tényezői

A hasznos teher értékét csökkentő tényezők		
	Födémterület szerinti tényező	Szintszám szerinti tényező
Számítási képlet	$\alpha_A = \frac{5}{7} \psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1,0$ A_0: 10 m² A: a terhelt felület m²-ben $\alpha_A \geq 0,6$ (csak C és D használati osztályú hasznos terhek esetén)	$\alpha_n = \frac{2 + (n-2)\psi_0}{n}$ n: a vizsgált oszlopot vagy falat terhelő, azonos használati osztályba tartozó szintek száma
	ψ_0 : a hasznos teher kombinációs (egyidejűségi) tényezője a 3-5. táblázat szerint	
A csökkenthető hasznos teher használati osztályai	A, B, C, D, E, H, I	A, B, C, D
Alkalmazási feltételek	$A > 35,0 \text{ m}^2$, ha $\psi_0=1,0^*$ $A > 20,0 \text{ m}^2$, ha $\psi_0=0,7$ $A > 15,6 \text{ m}^2$, ha $\psi_0=0,5$	$n > 2$
Egy teherelrendezés vizsgálata során egyfajta hasznos teherre csak az egyik csökkentő tényező alkalmazható! Ha a fenti csökkentést alkalmazzuk, az adott hasznos teherre további ψ_0 kombinációs (egyidejűségi) tényező már nem használható. Ha $\psi_0 < \min\{\alpha_A; \alpha_n\}$, akkor általában az egyidejűségi tényező alkalmazása eredményezi a kisebb hasznos terhet. [†]		

Hatások

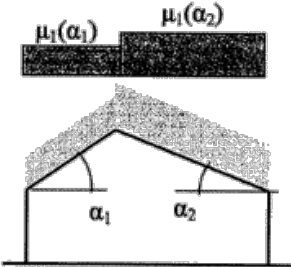
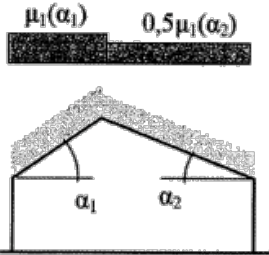
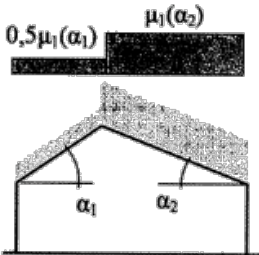
- MSz EN 1991-1/3, hóteher



$$s = C_e \cdot C_t \cdot \mu_i \cdot s_k$$



Hatások

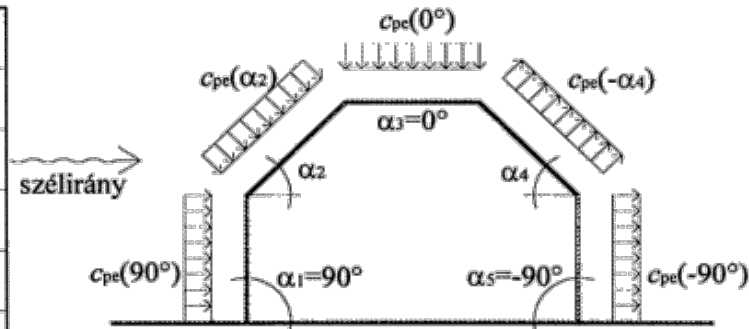
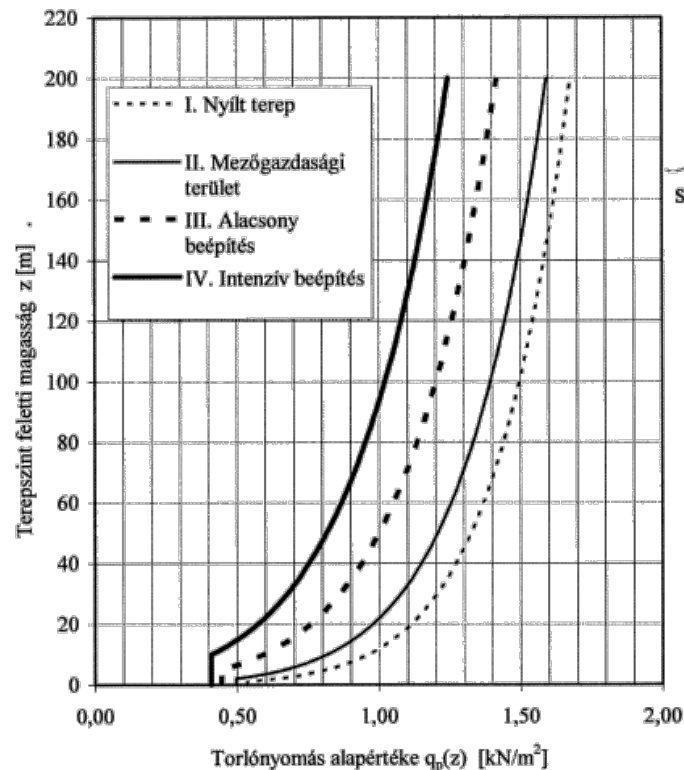
Nyeregtetők teherelrendezései és alaki tényezői		
Nyeregtetők tetősíkjain a figyelembe veendő hóteher mindig egyenletesen megoszló, az alaki tényező pedig a tetősíkok hajlásszögének függvénye. A vizsgálandó három teherelrendezés (terhelési eset) a következő:		
1. eset	2. eset: baloldali féloldalas teher	3. eset: jobboldali féloldalas teher
Felhalmozódás nélküli (a hóteher átrendeződése előtti) teherelrendezés	Felhalmozódást is tartalmazó, a hóteher átrendeződése utáni teherelrendezések	
		
A $\mu_1(\alpha)$ alaki tényezők tetősíkonként, a vízszintessel bezárt szög függvényében vehetők fel a 8-4. táblázat, illetve az ahhoz kapcsolódó diagram alapján.		

A szél hatását figyelembevevő C_e tényező (szél miatti tényező, tereptényező)		
Terep jellege	Leírás	C_e
Szeles	Sík, akadálymentes terep vagy terepkiemelkedés, ahol más építmények és a növényzet csak elhanyagolható védelmet nyújt a szél havat elhordó hatása ellen.	0,8
Szokásos	A terepviszonyok, a szomszédos építmények és/vagy a növényzet miatt a szél nem hordja le jelentős mennyiségben a havat a tetőkről.	1,0
Védett	A környezetnél alacsonyabb elhelyezkedés, magas fák és/vagy építmények fogják közre az épületet.	1,2

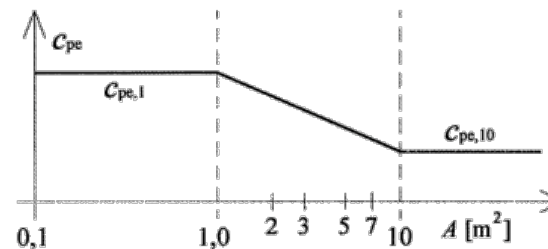


Hatások

- MSz EN 1991-1/3, szélteher
- $q_p(z)$ [kN/m²] értéke táblázatból (grafikonról)

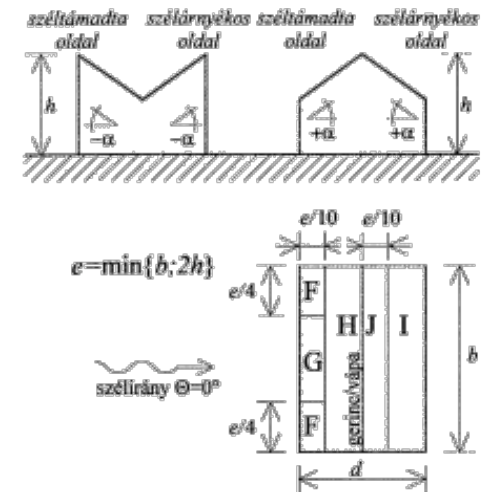


$$w = q_p(z) \cdot c$$



Hatások

a) Nyeregtetők külső nyomási tényezői, ha $\Theta=0^\circ$									
Tetősík hajlásszöge (α)		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
vápa	-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7	
	-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6	
	-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
	-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2	+0,2
								-0,6	-0,6
gerinc	5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	0,0	0,2
		0,0		0,0		0,0		-0,6	-0,6
	15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4	
		+0,2		+0,2		+0,2		0,0	0,0
	30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4	
		+0,7		+0,7		+0,4		0,0	0,0
	45°	0,0		0,0		0,0		-0,2	-0,3
		+0,7		+0,7		+0,6		0,0	0,0
	60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2	-0,3
	75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2	-0,3



Anyagjellemzők

A MÉRETEZÉS SORÁN HASZNÁLT LEGFONTOSABB SZABVÁNYOK:

- | | |
|------------------------------------|---|
| - MSZ EN 1995-1-1
2005. március | Eurocode 5: Faszerkezetek tervezése 1-1. rész: Általános szabályok. Közös és az épületekre vonatkozó szabályok* |
| - MSZ EN 1995-1-2
2005. március | Eurocode 5: Faszerkezetek tervezése 1-2. rész: Általános szabályok. Tervezés tűzterhelésre* |
| - MSZ EN 1995-2
2005. március | Eurocode 5: Faszerkezetek tervezése 2. rész: Hidak* |
| - MSZ EN 338
2003. december | Szerkezeti fa. Szilárdsági osztályok |
| - MSZ EN 1194 | Faszerkezetek. Rétegelt-ragasztott fa. A szilárdsági osztályok és a jellemző értékek meghatározása |

* jóváhagyó közleménnyel megjelent angol nyelvű szabványok



Anyagjellemzők

A FAANYAG MINŐSÍTÉSE / SZILÁRDSÁGI OSZTÁLYBA SOROLÁS

1. Laboratóriumi vizsgálatok eredményeinek statisztikai elemzése

(MSZ EN 384:1998, MSZ EN 408:1998)

2. Gépi szilárdsági osztályozás (MSZ EN 518:1998)

- termék ellenőrzési rendszer (adott méretű, fafajú és minőségű fa minősítése)
- gépellenőrzési rendszer (különböző méretű, fafajú és minőségű fa minősítése)

3. Vizuális osztályozás (MSZ EN 518:1998)

- repedések mérete göcsök, göcslyukak mérete, ill. területi részaránya, ferdeszálúság mértéke, évgyűrűszélesség, tompaszélűség, görbeség stb. (ρ_k is!)

4. Származási hely és a nemzeti osztályozási előírások alapján

(MSZ EN 1912:2000)

- ismert fafaj, származási hely, nemzeti osztályozás



Anyagjellemzők

		Fenyő és nyár fafajok											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Szilárdsági tulajdonságok (N/mm²)													
Hajlítás	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	40	50
Rostirányú húzás	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Rostirányra merőleges húzás	$f_{t,90,k}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6
Rostirányú nyomás	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Rostirányra merőleges nyomás	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Nyírás	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8
Merevségi tulajdonságok (kN/mm²)													
A rostirányú rugalmassági modulus középértéke	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
A rostirányú rugalmassági modulus 5%-os kvantilisé	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,3	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
A rostirányra merőleges rugalmassági modulus középértéke	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
A nyírási rugalmassági modulus középértéke	G_{mean}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Sűrűség (kg/m³)													
A sűrűség alsó 5%-os kvantilisé	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
A sűrűség középértéke	ρ_{mean}	350	370	380	400	410	420	420	460	480	500	520	550
Stabilitási anyagjellemzők													
Kihajlásvizsgálatnál a k_c tényező számításának megkönnyítésére:	λ_E	53,8	56,0	57,4	57,2	57,5	59,0	59,9	58,6	58,6	59,7	60,5	60,3
Kifordulásvizsgálatnál a k_{crit} tényező számításának megkönnyítésére:	$\lambda_{E,m}$	16,2	16,2	16,2	15,7	15,5	15,5	15,3	14,5	13,9	13,6	13,2	12,9



Anyagjellemzők

A RÉTEGELT-RAGASZTOTT FA SZILÁRDSÁGI OSZTÁLYAI

		Homogén rétegelt-ragasztott fa				Kombinált rétegelt-ragasztott fa			
		GL24h	GL28h	GL32h	GL36h	GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
Szilárdsági tulajdonságok (N/mm²)									
Hajlítás	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36	24	28	32	36
Rostirányú húzás	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26	14	16,5	19,5	22,5
Rostirányra merőleges húzás	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6	0,35	0,4	0,45	0,5
Rostirányú nyomás	$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31	21	24	26,5	29
Rostirányra merőleges nyomás	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3	3,3	3,6	2,4	2,7	3	3,3
Nyírás	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3	2,2	2,7	3,2	3,8
Merevségi tulajdonságok (kN/mm²)									
A rostirányú rugalmassági modulus középértéke	$E_{0,g,mean}$	11,6	12,6	13,7	14,7	11,6	12,6	13,7	14,7
A rostirányú rugalmassági modulus 5%-os kvantilise	$E_{0,g,05}$	9,4	10,2	11,1	11,9	9,4	10,2	11,1	11,9
A rostirányra merőleges rugalmassági modulus középértéke	$E_{90,g,mean}$	0,39	0,42	0,46	0,49	0,32	0,39	0,42	0,46
A nyírási rugalmassági modulus középértéke	$G_{g,mean}$	0,72	0,78	0,85	0,91	0,59	0,72	0,78	0,85
Sűrűség (kg/m³)									
A sűrűség alsó 5%-os kvantilise	$\rho_{g,k}$	380	410	430	450	350	380	410	430
A sűrűség középértéke	$\rho_{g,mean}$	460	490	510	535	420	460	490	520



Anyagjellemzők

JELÖLÉSEK

Szilárdság / feszültség

$$f_{c,45,d} \geq \sigma_{c,45,d}$$

hajlító (m)

húzó (t)

nyomó (c)

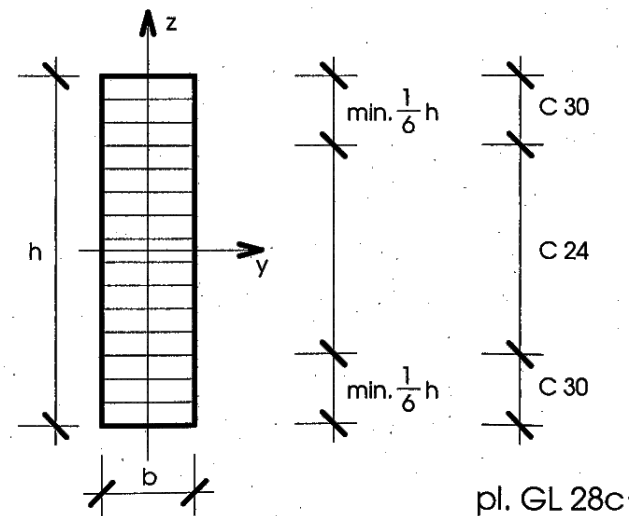
nyíró (v)

Beágyazási/palástnyomási (h)

$\alpha = 0 \dots 90^\circ$

tervezési (d)

karakterisztikus (k)



Anyagjellemzők

FELHASZNÁLÁSI OSZTÁLYOK

1. Felhasználási osztály: Jellemzője a faanyag azon nedvességtartalma, amely 20°C-on akkor alakul ki, ha a környező levegő relatív páratartalma évenként csak néhány hétig haladja meg a 65%-os értéket. (Ekkor a fenyők átlagos egyensúlyi nedvességtartalma nem haladja meg az $\omega=12\%$ -ot.)

2. Felhasználási osztály: Jellemzője a faanyag azon nedvességtartalma, amely 20°C-on akkor alakul ki, ha a környező levegő relatív páratartalma évenként csak néhány hétig haladja meg a 85%-os értéket. (Ekkor a fenyők átlagos egyensúlyi nedvességtartalma nem haladja meg az $\omega=20\%$ -ot.)

3. Felhasználási osztály: A környezeti hatások nagyobb nedvességtartalmat eredményeznek, mint a 2. felhasználási osztály esetén. (Ekkor a fenyők átlagos egyensúlyi nedvességtartalma nagyobb, mint $\omega=20\%$.) Csak kivételes esetekben soroljuk a fedett tartószerkezeteket a 3. osztályba.



Anyagjellemzők

A TEHERIDŐTARTAMOK OSZTÁLYAI

A teheridőtartam osztálya	A karakterisztikus hatás időtartamának összegzett nagyságrendje	Példa a terhelésre
Állandó	10 évnél hosszabb idő	Önsúly
Hosszú időtartamú	6 hónap – 10 év	Raktárak hasznos terhei
Közepes időtartamú	1 hét – 6 hónap	Egyéb hasznos terhek
Rövid időtartamú	1 hétnél rövidebb	Hó- és szélteher
Pillanatnyi		Hó- és szélteher, földrengés, rendkívüli hatások



Anyagjellemzők

A k_{mod} módosító tényező

A teher időtartamát és a faanyag nedvességtartalmát figyelembe vevő k_{mod} tényező értékei:

Faanyag		Felhasználási osztály	A teheridőtartam osztályai				
			állandó	hosszú időtartamú	közepes időtartamú	rövid időtartamú	pillanatnyi
Természetes faanyag, rétegelt-ragasztott fa, LVL termékek, és rétegelt lemezek		1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
OSB lapok	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	OSB/3, OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	OSB/3, OSB/4	2	0,30	0,45	0,50	0,70	0,90



Anyagjellemzők

$$f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Az anyagjellemzők és ellenállások γ_M parciális biztonsági tényezői:

Alapkombinációk esetén:	
Szerkezeti (természetes) fa:	1,30
Rétegelt-ragasztott fa:	1,25
LVL termékek, rétegelt lemezek:	1,20
OSB lapok:	1,20
Faforgácslemezek:	1,30
Farostlemezek, MDF lapok:	1,30
Kapcsolatok:	1,30
Szeglemezek:	1,25
Rendkívüli kombinációk esetén:	1,00

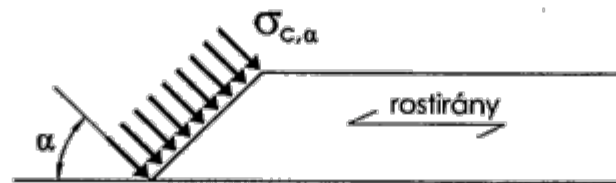


Anyagjellemzők

A FESZÜLTÉG IRÁNYA ÉS A ROSTIRÁNY ÁLTAL BEZÁRT SZÖG (α)

A rostiránnyal α szöget bezáró nyomófeszültség a következő feltételnek megfelelő legyen:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq f_{c,\alpha,d}$$



A nyomófeszültség és a rostirány közötti szög értelmezése

$$\text{, ahol } f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{1}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \cdot f_{c,0,d} = k_{\alpha} \cdot f_{c,0,d}$$



Anyagjellemzők

A rostirány és a feszültségek iránya közötti α szög hatását figyelembe vevő k_α tényező értékei $k_{c,90}=1,0$ esetén

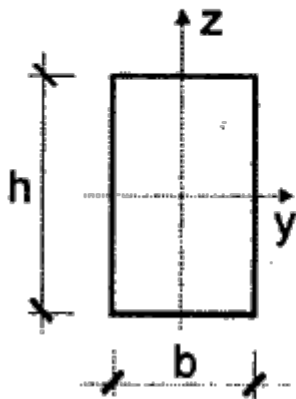
α	C14 - C24	C27 - C50	D30 - D60	D70
0	1,00	1,00	1,00	1,00
1	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0,99	0,99	1,00	1,00
3	0,98	0,98	0,99	1,00
4	0,97	0,96	0,99	0,99
5	0,95	0,94	0,99	0,99
6	0,93	0,92	0,98	0,98
7	0,90	0,90	0,97	0,98
8	0,88	0,87	0,96	0,97
9	0,85	0,84	0,95	0,96
10	0,82	0,81	0,94	0,96



Hajlított tartók

- Egyenes hajlítás, tönkremenetel módja

Törés a húzott zónában
(leggyakoribb eset)



Rostok kihajlása a nyomott zónában

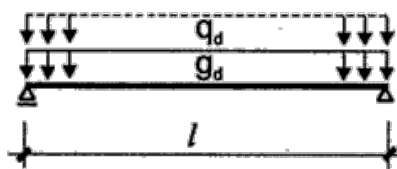
- rosszul osztályozott fa (nagy fahiba)
- nagy szilárdságú RR-fa (GL36h, MS18)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,d}$$

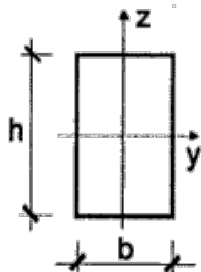


Hajlított tartók

Egyenes hajlítás - teherkombinációk



Funkció alapján (q)
(pl. iroda hasznos terhe)
→ közepes teheridőtartam



k_{mod} : 1. felhasználási osztály + teheridőtartamok

g : állandó időtartam (önsúly) $k_{mod,1} = 0,6$

g+q : közepes időtartam (pl. iroda) $k_{mod,2} = 0,8$

Mértékadó teherkombináció kiválasztása:

maximum-kereséssel

1. $\gamma_G \times g_k / k_{mod,1}$
2. $(\gamma_G \times g_k + \gamma_Q \times q_k) / k_{mod,2}$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,d}$$

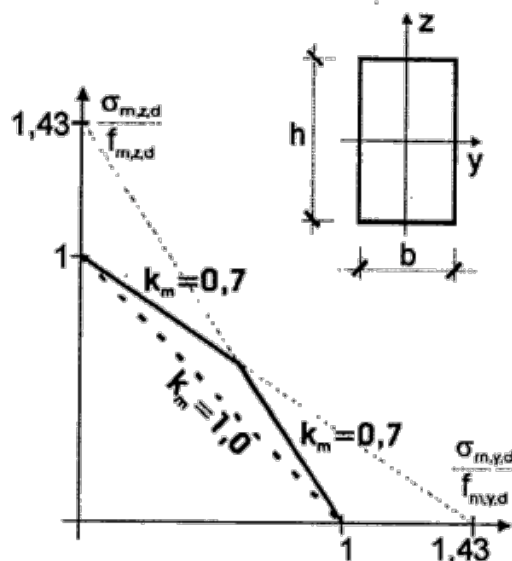
$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{M_{y,d}}{W_y \times f_{m,d}} = \frac{(\sum \gamma \times p_k) l^2}{8 \times W_y \times \frac{k_{mod}}{\gamma_M} f_{m,k}}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{(\sum \gamma \times p_k)}{k_{mod}} \times \frac{l^2}{8 \times W_y \times \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,d}}}$$



Hajlított tartók

Ferde hajlítás - számítás



Szilárdságtan:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

Valószínűségi megfontolások:
bővített teherbírási tartomány

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$



$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

$$k_m = 0,7$$

Végrehajtás:

ha

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$$

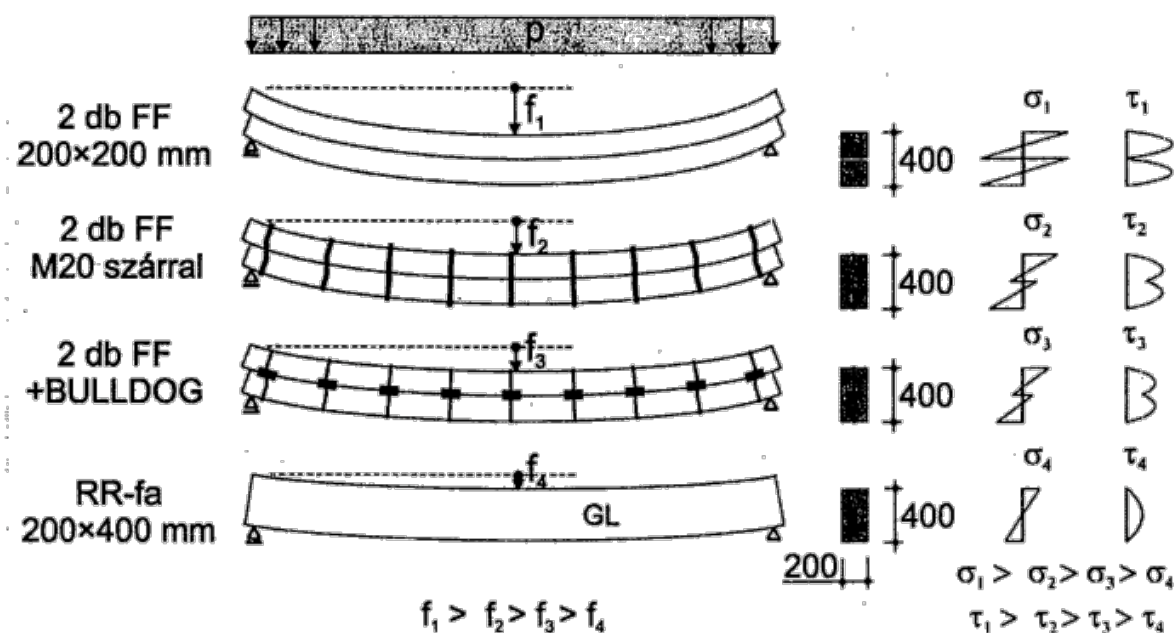
ha NFM, de

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,2$$



Hajlított tartók

Többfás szerkezetek

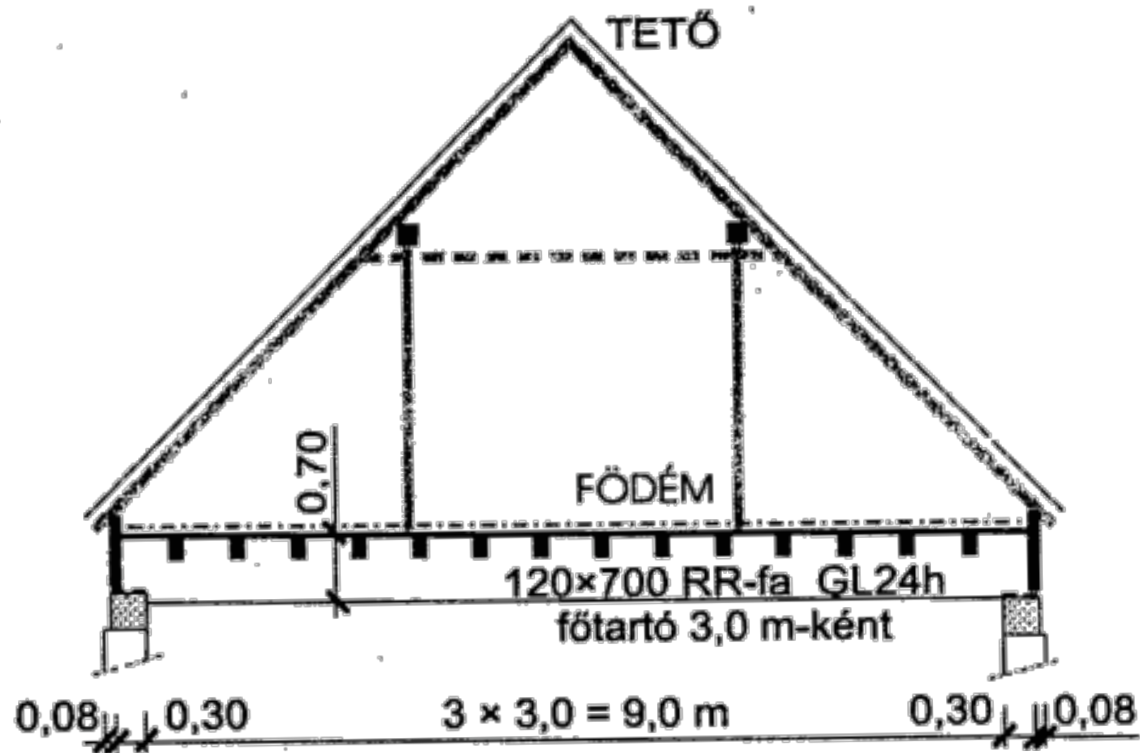


- Kérdések:
1. Hajlítási ellenőrzés ($\sigma_{\max}$)
 2. Nyírési ellenőrzés (F: csúsztatóerő)
 3. Merevségek számítása (oszlop-kihajlás, alakváltozások)

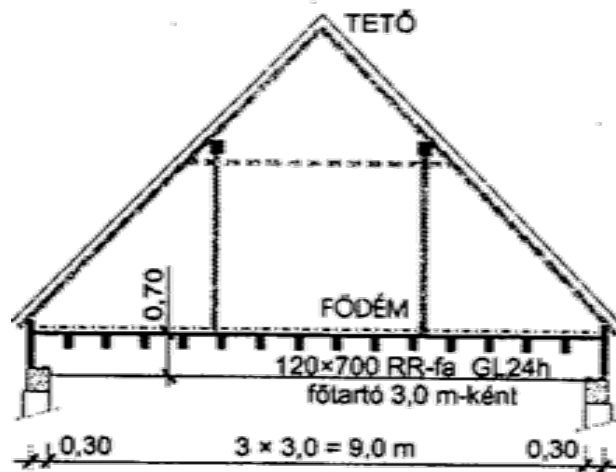


Szám példa I.

Tető szerkezet kötőgerendája



Szám példa I.



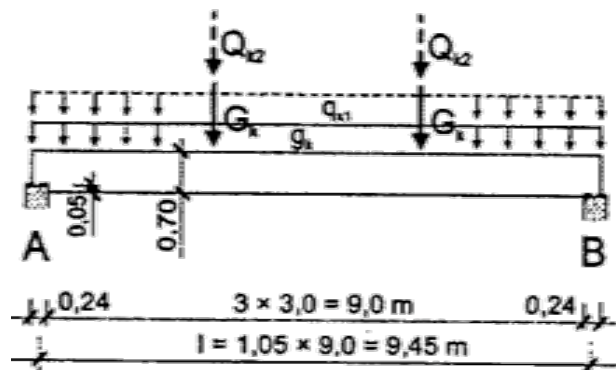
Zárt fűtött tér – 1. felhasználási osztály

- állandó teher (megoszló) $g_k = 4,5 \text{ kN/m}$
- állandó teher (koncentrált) $F_{g,k} = 3,0 \text{ kN}$
- hasznos teher (közepes t.) $q_{k1} = 6,0 \text{ kN/m}$
- hóteher (rövididejű t.) $Q_{k2} = 2,5 \text{ kN}$

GL24h RR-fa : $b/h = 200/700$

Kiharapás magassága A-ban : $\Delta h = 50 \text{ mm}$

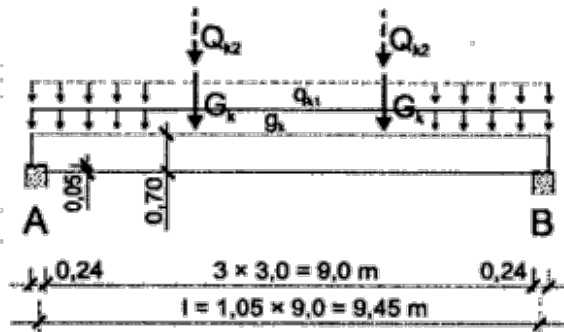
Felfekvési hossz : $a = 240 \text{ mm}$



Feladat: szilárdsági ellenőrzés



Szám példa I.



Megvizsgálandó kombinációk:

állandó : $1,35 \times G_k / k_{\text{mod},1}$

közepes : $1,35 \times G_k + 1,5 \times q_{k1} / k_{\text{mod},2}$ (*hasznos*)

rövid : $1,35 \times G_k + 1,5 \times q_{k1} + 1,5 \times \psi_0 \times q_{k2} / k_{\text{mod},3}$ (+*hó*)

$1,35 \times G_k + 1,5 \times \psi_0 \times q_{k1} + 1,5 \times q_{k2} / k_{\text{mod},3}$ (+*hó*)

$\psi_{0,\text{hasznos}} = 0,7$

$\psi_{0,\text{hó}} = 0,5$

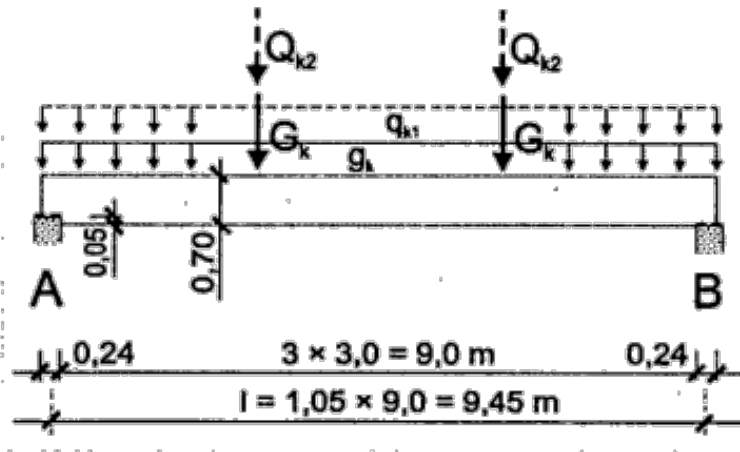
Igénybevételek tervezési értékei:

$$M_{Ed} = \frac{(1,35 \times 4,5 + 1,5 \times 6) \times 9,45^2}{8} + \frac{(1,35 \times 10 + 1,5 \times 9) \times 9,45}{3} = 253,4 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{(1,35 \times 4,5 + 1,5 \times 6) \times 9,45}{2} + (1,35 \times 10 + 1,5 \times 9) = 98,2 \text{ kN}$$



Szám példa I.



Keresztmetszeti jellemzők

$$A = 200 \cdot 700 = 140,0 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{200 \cdot 700^2}{6} = 16,3 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{200 \cdot 700^3}{12} = 5,72 \cdot 10^9 \text{ mm}^3$$

Hajlítási ellenőrzés - mezőközépen

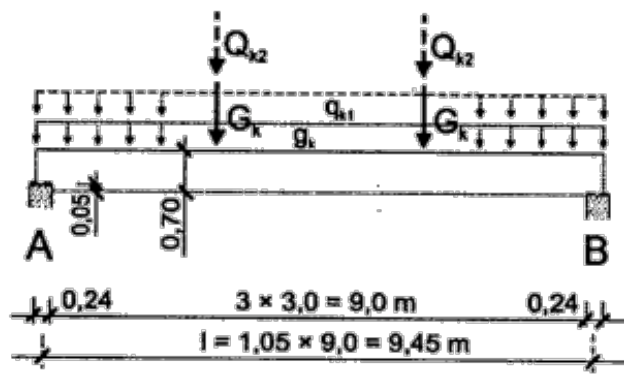
$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 24 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 17,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{253,4 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{16,3 \cdot 10^6 \text{ mm}^3} = 15,54 \text{ N/mm}^2 \leq f_{m,d} = 17,28 \text{ N/mm}^2 \quad \text{MF}$$



Szám példa I.



Nyírás a kiharapott tartóvégen
(mértékadó: A támasz, alsó kiharapás)

$$\tau_d = \frac{1,5V_d}{bh_e} \leq k_v f_{v,d}$$

$$V_{Ed} = 98,2 \cdot 10^3 \text{ N} \quad b = 200 \text{ mm} \quad h = 700 \text{ mm}$$

$$h_e = 650 \text{ mm} \quad \alpha = 650/700 = 0,929 > 0,5 \quad \text{OK} \quad i = 0$$

$$x = 240/2 = 120 \text{ mm} \quad \beta = x/h = 120/700 = 0,171$$

$$k_v = \frac{k_n \left(1 + \frac{1,1 i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} = \frac{6,5}{\sqrt{700} \left(\sqrt{0,929(1-0,929)} + 0,8 \cdot 0,171 \sqrt{\frac{1}{0,929} - 0,929^2} \right)} = 0,777$$

$$k_v f_{v,d} = k_v \frac{k_{\text{mod}} f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,777 \frac{0,9 \cdot 2,7 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_d = \frac{1,5 V_{Ed}}{bh_e} = \frac{1,5 \cdot 98,2 \cdot 10^3 \text{ N}}{200 \text{ mm} \cdot 700 \text{ mm}} = 1,05 \text{ N/mm}^2 \leq k_v f_{v,d} = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

MF!



Szám példa I.

**Rostra merőleges nyomás
(A vagy B támasznál)**

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d}$$

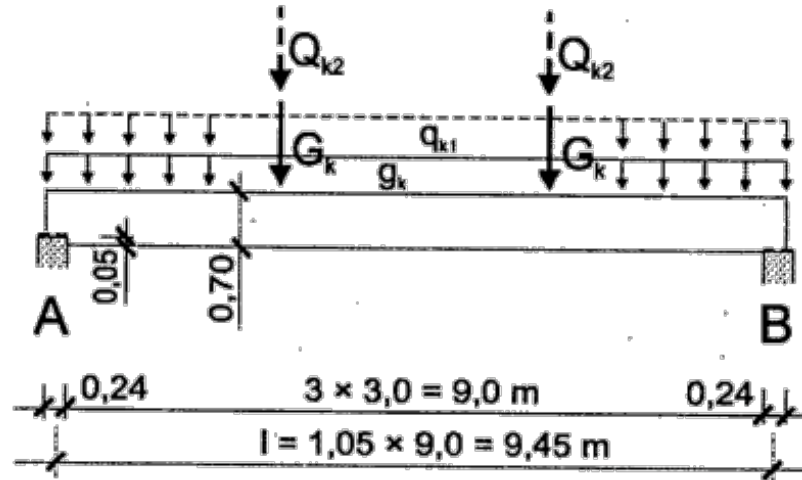
$$A = 120 \cdot 240 = 28,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$k_{c,90} = \left(2,38 - \frac{l}{250} \right) \left(1 + \frac{h_e}{12l} \right) = \left(2,38 - \frac{240}{250} \right) \left(1 + \frac{700}{12 \cdot 240} \right) = 1,76$$

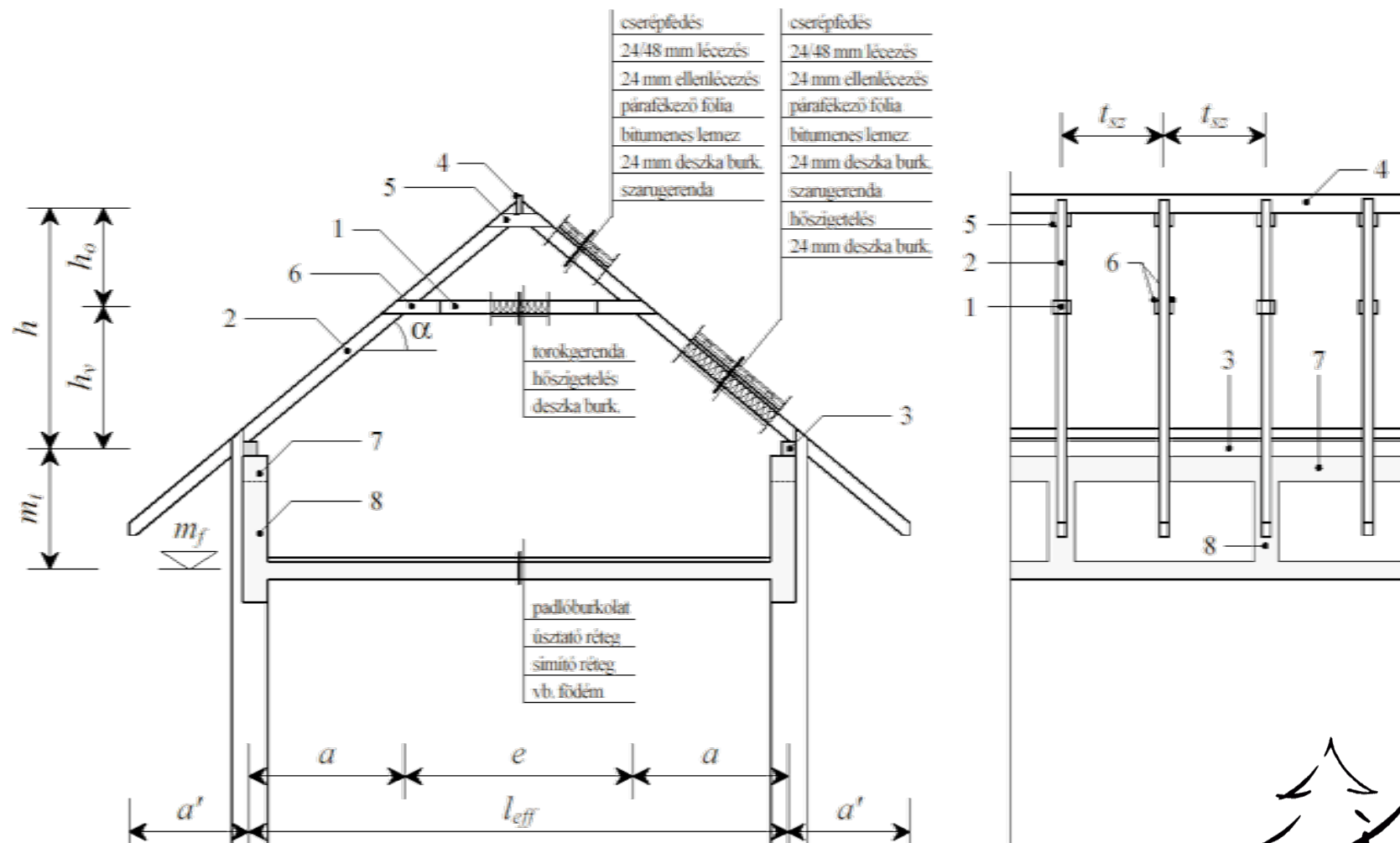
$$k_{c,90} f_{c,90,d} = k_{c,90} \frac{k_{\text{mod}} f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 1,76 \cdot \frac{0,9 \cdot 2,7 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 3,42 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_{Ed}}{A} = \frac{98,2 \cdot 10^3 \text{ N}}{28,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^2} = 3,41 \text{ N/mm}^2 \leq k_{c,90} f_{c,90,d} = 3,42 \text{ N/mm}^2$$

MF

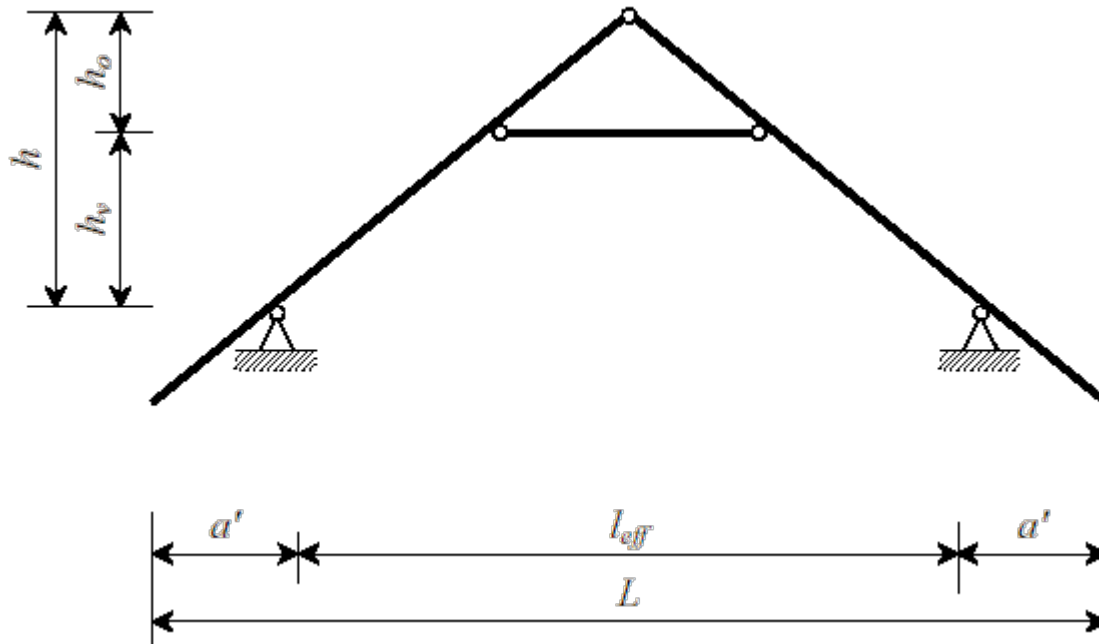


Számpélda II.



Számpélda II.

- Geometria



$$l_{\text{eff}} = 8,0 \text{ m}$$

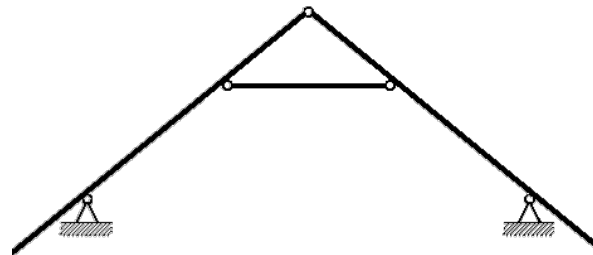
$$a' = 0,5 \text{ m}$$

$$h_v = 1,7 \text{ m}$$



Számpélda II.

- Önsúly



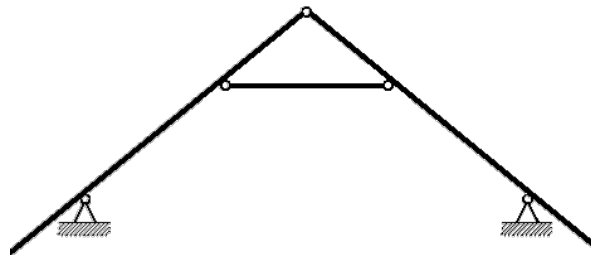
$$Y_G = 1,30/1,00$$

cserép	0,60	0,65	0,90	kN/m2
lécezés	0,05			
hőszigetelés	0,05	0,25		
gipszkarton	0,20			



Számpélda II.

- Hóteher



$$\gamma_s = 1,5 \quad \psi_1 = 0,2$$

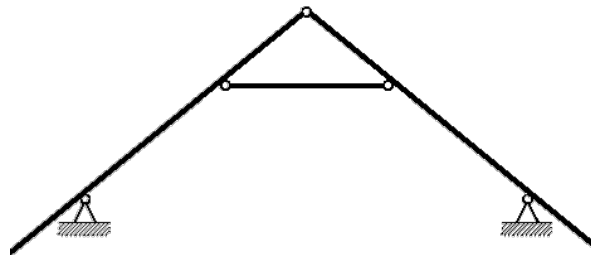
$$\psi_0 = 0,5 \quad \psi_2 = 0$$

μ_1, μ_2	C_e	C_t	S_k	S	
$0,027 \cdot (60 - \alpha) = 0,533$	1,0	1,0	1,25	0,667	kN/m ²
$0,036 \cdot (60 - \alpha) = 0,733$	1,0	1,0	1,25	0,917	



Számpélda II.

- Szélteher**



$$Y_W = 1,5 \quad \Psi_1 = 0,5$$

$$\Psi_0 = 0,6 \quad \Psi_2 = 0$$

Zóna	c_{pe}	$C_e(z)$	q_{ref}	w	
F/G	0,7	1,5	0,25	0,263	kN/m ²
H	0,6	1,5	0,25	0,225	
J	-0,3	1,5	0,25	0,113	
I	-0,2	1,5	0,25	0,075	

